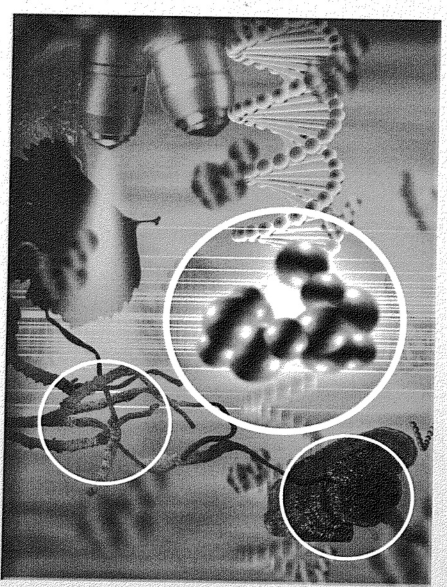


التقنية الحيوية

ومستقبل المجتمعات البشرية

التحديات والفرص



مركز الإمارات للدراسات والبحوث الاستراتيجية

إهـــــــداء ٢٠٠٧
مركز الإمارات للبحوث والدراسات الإستراتيجية
الإمارات العربية المتحدة

التقنيـة الحيويـة
ومستقبل المجتمعات البشرية:
التحديات والفرص

محتوى الكتاب لا يعبر بالضرورة عن وجهة نظر المركز

الطبعة الأولى 2004

النسخة العادية ISBN 9948-00-669-0
النسخة الفاخرة ISBN 9948-00-670-4

توجه جميع المراسلات إلى العنوان التالي:
مركز الإمارات للدراسات والبحوث الاستراتيجية
ص. ب: 4567
أبوظبي
الإمارات العربية المتحدة
هاتف: +9712-6423776
فاكس: +9712-6428844
Website: http://www.ecssr.com
E-mail: pubdis@ecssr.com



مركز الإمارات للدراسات والبحوث الاستراتيجية

التقنية الحيوية ومستقبل المجتمعات البشرية: التحديات والفرص

مركز الإمارات للدراسات والبحوث الاستراتيجية

أنشئ مركز الإمارات للدراسات والبحوث الاستراتيجية في 14 آذار/ مارس 1994، بهدف إعداد البحوث والدراسات الأكاديمية للقضايا السياسية والاقتصادية والاجتماعية المتعلقة بدولة الإمارات العربية المتحدة ومنطقة الخليج والعالم العربي. ويسعى المركز لتوفير الوسط الملائم لتبادل الآراء العلمية حول هذه الموضوعات؛ من خلال قيامه بنشر الكتب والبحوث وعقد المؤتمرات والندوات. كما يأمل مركز الإمارات للدراسات والبحوث الاستراتيجية أن يسهم بشكل فعال في دفع العملية التنموية في دولة الإمارات العربية المتحدة.

يعمل المركز في إطار ثلاثة مجالات هي مجال البحوث والدراسات، ومجال إعداد الكوادر البحثية وتدريبها، ومجال خدمة المجتمع؛ وذلك من أجل تحقيق أهدافه المتمثلة في تشجيع البحث العلمي النابع من تطلعات المجتمع واحتياجاته، وتنظيم الملتقيات الفكرية، ومتابعة التطورات العلمية ودراسة انعكاساتها، وإعداد الدراسات المستقبلية، وتبني البرامج التي تدعم تطوير الكوادر البحثية المواطنة، والاهتمام بجمع البيانات والمعلومات وتوثيقها وتخزينها وتحليلها بالطرق العلمية الحديثة، والتعاون مع أجهزة الدولة ومؤسساتها المختلفة في مجالات الدراسات والبحوث العلمية.

المحتويات

تقديم

من المتوقع أن تؤثر ثورة التقنية الحيوية الراهنة تأثيراً بالغاً في حياتنا جميعاً. وستشهد مجالات مثل الطب والرعاية الصحية والزراعة والأمن حتماً تغيرات شاملة بسبب التقنيات والعمليات المستحدثة. وتشمل السيناريوهات المستقبلية المحتملة تقويم الاضطرابات الجينية قبل الولادة، وزراعة الأنسجة والأعضاء البشرية، بل ربما إطالة عُمْر الإنسان. أما ما يُسمى بـ"الثورة الخضراء" المعتمدة أكثر فأكثر على التغييرات الجينية فقد تحقق إنتاجاً غذائياً متزايداً على مساحة أقل وبتكلفة أقل؛ لتسهم في الحد من الجوع في العالم. كما ستسهم البصمة الجينية والتقنيات المتقدمة المستخدمة في تحديد الهوية الشخصية في تعزيز الخدمات الأمنية وتسهيل عمل المؤسسات المعنية بذلك.

وبرغم كل هذه الإنجازات الواعدة، فلابد من دراسة "الحتمية" المفترضة لثورة التقنية الحيوية وآثارها المتعددة دراسةً متفحصةً. ويجب ألا نسمح لثورة التقنية الحيوية أن "تحدث" أمام أعيننا من دون أن نفهم تأثيراتها الواسعة. ولابد من مراجعة تقويمية متأنية لطرائق التقنية الحيوية المعتمدة في زراعة أنواع جديدة من النباتات والأنسجة وفي تخليق الأعضاء والكائنات الجديدة. ولنا هنا أن نتساءل: هل للإنجازات المتحققة منافع فعلية؟ أمن شأنها حقاً أن تحسن حياتنا من دون أن تمس كرامتنا البشرية أو تضر مستقبل كوكبنا، أم تراها اكتشافات علمية رافقتها ضجة إعلامية وقد تنطوي على مخاطر خفية لا سبيل إلى السيطرة عليها؟ وهل تسبب التغييرات التي نجريها على الشفرة الجينية للكائنات الحية اضطرابات غير متوقعة في نظامنا البيئي، برغم أن هذا قد يقوض حياتنا ويهدد بقاءنا كجنس بشري؟

مما لاشك فيه أن التقنية الحيوية ستؤثر في جوانب عدة من حياتنا، غير أن درجة تأثيرها ستعتمد إلى حد بعيد على خياراتنا وقراراتنا كمجتمعات وأفراد، وهي يجب أن تنطلق من تقويمات موضوعية. ومن أجل تقويم ثورة التقنية الحيوية وأبعادها نظم مركز الإمارات

للدراسات والبحوث الاستراتيجية مؤتمره السنوي الثامن تحت عنوان «التقنية الحيوية ومستقبل المجتمعات البشرية: التحديات والفرص» في أبوظبي في الفترة 11-13 كانون الثاني/ يناير 2003، وقد جمع هذا المؤتمر نخبة من الخبراء الدوليين البارزين، وناقش المشاركون أحدث التطورات في مجال علوم الحياة ومضامينها الاجتماعية والأخلاقية والقانونية والصناعية والصحية.

وتناقش الأوراق العلمية المنشورة بين دفتي هذا الكتاب الفرص والتحديات الرئيسية الناجمة عن ثورة التقنية الحيوية. ونأمل أن يسهم هذا الكتاب في أن ينشر الفهم الضروري للتقنية الحيوية وآثارها الممتدة وبما يمكّن من اتخاذ قرارات مسؤولة في هذا المجال المهم والمتطور بسرعة بالغة.

ويود مركز الإمارات للدراسات والبحوث الاستراتيجية أن يعبر عن تقديره للمحاضرين البارزين الذين شاركوا في المؤتمر وأفادوا بخبرتهم القيمة.

د. جمال سند السويدي

المدير العام

مركز الإمارات للدراسات والبحوث الاستراتيجية

القسم الأول

مقدمـــة

التقنية الحيوية ومستقبل المجتمعات البشرية:

رؤية عامة

د. جمال سند السويدي

> يوشك العالم الآن أن يشهد نهاية عصر المعلومات ليدخل عصراً جديداً، هو عصر "المواد الحيوية". وستفوق معجزات عصر المواد الحيوية في آثارها عصر الإنترنت. وستكون منتجات عصر المواد الحيوية أكثر أهميةً من النار والدّولاب أو السيارة، وأكثر سرعةً وإنتاجيةً من أضخم الحواسيب العملاقة التي نعرفها اليوم. وسيمنحنا عصر المواد الحيوية معرفةً جديدةً خلال فترةٍ وجيزةٍ تفوق الحكمة التي عرفناها عبر التاريخ، وستفوق قوة تقنيات عصر المواد الحيوية قوة جيوش العالم مجتمعةً.[1]

سواء اتفقنا تماماً أو اختلفنا مع الرأي المثير لريتشارد أوليفر (Richard W. Oliver) في فاتحة هذه المقدمة فإن هناك إجماعاً على أن التقنية الحيوية باقية ولن تنتهي. ولم يكن، في وسع امرئ ما، أو حكومة ما، عبر تاريخ الابتكارات التقنية وقف تقدمها. لقد كان القرن التاسع عشر عصر الكيمياء بينما كانت الفيزياء محور الابتكارات في القرن العشرين. أما في القرن الحادي والعشرين فسيشكل علم الأحياء محور الدراسات العلمية والتقنية. بل إن طبيعة "عصر علم الأحياء" الجديد - وهو اسم عام يشمل حقبة تقنية وعلمية مبنية على علم الأحياء بأوجهها كافة - تضمن بقاء هذه الحقبة وامتدادها.

ويتعين علينا جميعاً أن نعيَ جوهر ثورة التقنية الحيوية وتعقيداتها، وذلك في ضوء حتمية وجودها، والآمال المعقودة عليها، والمخاوف المثارة حول نفوذها، والحاجة إلى تحديد مسارها لما فيه منفعة البشرية. وبات ضرورياً ألا نظل مشاهدين سلبيين ننظر إلى التقنية الحيوية وتأثيراتها وكأننا لا حول لنا ولا قوة، بل علينا جميعاً أن نفهم التقنية الحيوية وطبيعتها وتأثيراتها المحتملة. وعلاوةً على ذلك، يتعين علينا - نحن أبناء البشرية - أن نعبِّر عن رأينا بشأن قضايا الحقبة الجديدة وبما يمكننا من الاستفادة من تقنياتها، وألا نكون متلقين سلبيين تقع علينا آثارها.

وقد أشار جيرمي ريفكن في كتابه قرن التقنية الحيوية إلى أن تركةً من القضايا غير المدروسة قد آلت إلينا من ثورتين علميتين، في الفيزياء والكيمياء في القرنين التاسع عشر والعشرين. «وقد حققت الثورتان فوائد مهمة للبشرية غير أنهما خلفتا مشكلات لا تقل أهمية».[2] ويوضح ريفكن أن هذه المشكلات لها «تبعات بيئية واجتماعية واقتصادية تمثل في مجموعها تركة العصر الحديث».[3]

ومن أجل تجنب الوقوع في المشكلة نفسها ومواجهة تبعات قضايا مماثلة لم تنل حظها من الدراسة، نظم مركز الإمارات للدراسات والبحوث الاستراتيجية مؤتمره السنوي الثامن في أبوظبي بدولة الإمارات العربية المتحدة تحت عنوان «التقنية الحيوية ومستقبل المجتمعات البشرية: التحديات والفرص». وقد استضاف المؤتمر نخبةً من الخبراء البارزين في هذا المجال لعرض خبراتهم ووجهات نظرهم ومناقشتها. ويجمع هذا الكتاب بين دفتيه أفكارهم وآراءهم التي قدِّمت في المؤتمر. ويعطي هذا الكتاب القراء الفرصة لفهم التطورات المهمة فيما يُعرف بـ "عصر علم الأحياء" الجديد، ولتشكيل رأي واع حول القضايا التي ستؤثر حتماً في حياة كل واحد منا.

لقد انصب اهتمام وسائل الإعلام والرأي العام حتى يومنا هذا على جانب واحد من جوانب ثورة التقنية الحيوية، هو الهندسة الجينية. ولم تُثِر التطورات الأخرى في علوم الحياة – وهي التي من المحتمل أن تكون نافعة – جدلاً مماثلاً، ومن أمثلة ذلك التطبيقات التقنية المتكاملة والمدمجة، والمجالات الأكثر تأثراً وتأثيراً في ديناميات النظم البيئية والعلاقات التبادلية.[4] ولكن هناك ما يسوغ الاهتمام البالغ الذي حظيت به الهندسة الجينية في إطار التقنية الحيوية. وكما يشير جون جيرهارت (John Gearhart) في دراسته التي عنوانها «الخلية الجذعية وأبحاث الاستنساخ: الانعكاسات على مستقبل البشرية» فإنه يمكننا أن نقول: إن أبحاث الخلية الجذعية هي الجانب الأهم في علم الأحياء اليوم؛ لأنها لفتت انتباه المجتمع بشدة إلى الجوانب الأخلاقية والسياسية والاقتصادية لهذه الثورة العلمية.

ويشير ستان ديفيس وبيل ديفيدسون في كتابهما **رؤية 2020: حوِّل أعمالك اليوم لتنجح في اقتصاد الغد** (*Transform Your Business Today to Succeed in Tomorrow's Economy*)

إلى أن علم الجينات بات مبشراً ونذيراً، لما ستحققه علاقة علم الأحياء بالتقنية في المستقبل.[5] ويعتقد المؤلفان أن العلم لم يستطع أن يأتي لنا بتقنيات جديدة إلا عندما تجاوز فهمه حدود الحاضر وتطلع إلى المستقبل. وما لم تتحقق إنجازات علمية باهرة في فهمنا للحمض النووي "الدنا" (DNA) وفي مجال الهندسة الجينية، فلنا أن نقول: إن علم الأحياء قد أخفق في أن يتنبأ بما هو آت وبما يمكّننا من تحقيق إنجازات تقنية وبزوغ فجر حقبة اقتصادية جديدة.

وتتمثل ثورة التقنية الحيوية - إذا ما أردنا أن نعبر عنها ببساطة - في تغيير عناصر الحياة.[6] وقد بدأت هذه الثورة عام 1973 عندما نجح واطسون (Watson) وكريك (Crick) في تأشيب دنا كائنين حيين، وهذه العملية تُعرف بـ "تقنية التأشب". وتمثل تقنية التأشب لُبَّ ثورة التقنية الحيوية. وقد مهدت لبداية ما يعرف باسم عصر التقنية الحيوية، كما استحوذت على جزء مهم من رأس المال الفكري البشري في العالم في القرن الأول من الألفية الثالثة. ومن أهم الأمور التي ستضمن انتشار ثورة التقنية الحيوية عالمياً وتوطد علاقتها مع كل واحد منا اقتران عصر المعلومات مع عصر التقنية الحيوية - باقتران علم الأحياء مع الحواسيب - وهذا مهد الطريق أمام المعلوماتية الحيوية (Bioinformatics). ويقول لين وبيجلسديجك وباتيل (Layne, Beugelsdijk and Patel) في كتابهم **قوة خارقة في المختبر** (*Firepower in the Lab*): إن «لدى العلماء حواسيب سريعة، وتقنيات قواعد البيانات، وإنترنت (أي قوة خارقة "رقمية") تمكنهم من تحليل مشكلات ضخمة في الطب وعلم الأحياء».[7] وعلاوة على ذلك، يشير جيرهارت إلى أن علوم الحياة مبنية على العمل الجماعي والتعاون العالمي. لقد أدت تقنية المعلومات - كما هو واضح - دوراً مهماً جداً في عصر التقنية الحيوية وما يحققه من إنجازات مذهلة، وستبقى تؤدي هذا الدور.

ويشير جيرمي ريفكن في كتابه **قرن التقنية الحيوية** إلى أنه «بعد أربعين عاماً من السير في خطين متوازيين، التقى علم المعلومات وعلوم الحياة والتحما ليشكلا معاً قوة تقنية واقتصادية هائلة».[8] وقد تمكنا بفضل اقتران العلم والتقنية من معالجة كميات كبيرة من بيانات علم الأحياء والتقنية الحيوية. ويشير ميشيو كاكو (Michio Kaku) في الفصل

الأول من هذا الكتاب بعنوان «التطورات في مجال التقنية الحيوية» - على سبيل المثال - إلى أنه قد ثبت بالفعل عدم صحة المخاوف التي أثيرت في البداية من أن يكون مشروع الجينوم البشري مكلفاً جداً أو أن يستغرق وقتاً طويلاً. فقد تمت أتمتة عملية وضع التسلسل الجيني، ومما سهل الأمر أكثر فأكثر تضاعف قوة الحواسيب كل 18 شهراً، وتبادل النتائج التي يتم التوصل إليها عبر الإنترنت في التو واللحظة.

ولم يعد تقاسم المعلومات بسرعة بالغة مقصوراً على العلماء فحسب، بل أضحى في وسع العامة أن يصلوا إلى هذه المعلومات بفضل الحواسيب وقوتها. ومن المسلم به أن المعرفة ذاتها ستزيد قوة الفرد وتمهد لحدوث التغيرات الاجتماعية. وعلى حد تعبير توماس فيجيل (Thomas Wiegele) في كتابه **التقنية الحيوية والعلاقات الدولية** (*Biotechnology and International Relations*) فإن هذا التحول «سيخلق حقائق سياسية جديدة يتعين على الحكومات الوطنية والمجتمع الدولي على حد سواء معالجتها».[9]

ولعل أوضح مثال على تأثير التقنية الحيوية هو تأثيرها في الاقتصاد العالمي. فقد تضاعفت الموافقات الخاصة بحقوق الملكية الفكرية في مجال التقنية الحيوية حتى وصلت إلى سبعة أضعاف في العقدين المنصرمين، بل من المتوقع أن تتضاعف معرفتنا بمواد التقنية الحيوية يومياً في مطلع هذا القرن؛ وهذان مؤشران على القدرة الاقتصادية لعصر التقنية الحيوية.[10] ويقول أندرو جرين (Andrew Greene) في الفصل السابع «الاستثمار في صناعة التقنية الحيوية»: إن هناك عوامل كثيرة تشير إلى وجود سوق ضخمة لمبتكرات التقنية الحيوية في مجال الصحة، ومنها: الشيخوخة في العالم، وزيادة الدخل الذي يُنفق على الرعاية الصحية، وعودة الأمراض المعدية المقاومة للمضادات الحيوية، وعدم التوصل إلى علاجات للسرطانات الرئيسية.

ويقول جريجوري ستوك (Gregory Stock) في الفصل العاشر «التقنية الحيوية ومستقبل الطب»: إن الاختبار الحقيقي للتقنية الحيوية ودورها في إعادة تشكيل الممارسات الطبية يتمثل في التطورات التي تهدد الطبيعة الأساسية للطب، وتخلق حدوداً ضبابية بين المعالجة الحقيقية والمعالجة الكمالية، وبين الوقاية والمعالجة، وبين الحاجة والرغبة، ويضيف

قائلاً: إن أحد أهم التغيرات المقبلة هو التحول البالغ نحو الطب الوقائي. ويقدم لنا جلين ماكجي (Glenn McGee) في الفصل الخامس «المضامين الأخلاقية والقانونية والاجتماعية للتقنية الحيوية» مزيداً من المؤشرات على إمكانات القطاع الصحي، فهو يشير مثلاً إلى أن 33٪ من المواقع التي يزورها متصفحو الإنترنت في الولايات المتحدة الأمريكية مختصة بمعلومات الرعاية الصحية، بينما تشكل مواقع الرعاية الصحية ما نسبته 37٪ من المواقع التي يزورها متصفحو الإنترنت في العالم العربي.

وتبشر مبتكرات التقنية الحيوية – عموماً – بتحقيق أرباح طائلة لأصحابها، لما لها من تأثير عميق وممتد عالمياً في الكثير من المجالات التي تهم البشرية وتشغلها؛ ومنها: الصحة والزراعة والدفاع والتجارة والصناعة. ومن المحتمل أن يكون لهذه التقنيات الجديدة آثار بالغة في الكثير من الصناعات التقليدية، وهو ما يمكن أن نسميه بـ "التقنيات المُمَكِّنة". ومن المتوقع أن تكون كل شركة حول العالم مشتركة في استخدام التقنيات الحيوية الجديدة أو تطويرها، أو معتمدةً عليها لبقائها خلال أقل من جيل.[11] وقد استثمر أصحاب رؤوس الأموال المغامرة مبالغ ضخمة في مبتكرات التقنية الحيوية طوال العقود الثلاثة المنصرمة، ومن المتوقع أن تكون العائدات كبيرة أيضاً. وفي ظل احتمالات تحقيق مكاسب مالية ومادية ضخمة فإنه من المرجح أن تكون الشركات المتعددة الجنسيات طرفاً مهماً في العصر الجديد، وهذا يمهد الطريق لحدوث تغيرات اجتماعية ويقتضي رداً سياسياً.

ومن أجل أن يكون هذا الرد واعياً وذا جذور اجتماعية، فلابد أن يلم العامة بعلوم الحياة وجوانبها المختلفة. وهناك حديث الآن عن "معرفة التقنية الحيوية" لتحل محل "المعرفة المعلوماتية"؛ حيث تُعد الأولى المعرفة الضرورية لتكوين رأي عام واع في عصر التقنية الحيوية.[12] وفي هذا السياق يشير خوان إنريكس ـ كابوت (Juan Enriquez-Cabot) وهيلين كويجلي (Helen Quigley) إلى أن المجتمعات التي تبقى جاهلةً علمياً ستصبح فقيرة بسرعة بالغة.

إن غياب الوعي العام بالأبعاد الحقيقية للتطورات الجديدة قد جعلنا نحصر التقنية الحيوية ونفهمها على أنها الهندسة الجينية حصراً، برغم أن الهندسة الجينية ليست إلا فرعاً

من فروعها، وخاصةً بعد استنساخ النعجة دوللي وما تبعه من ادعاءات مقلقة عن حالات استنساخ بشرية. إن حصر مفهوم التقنية الحيوية في الهندسة الجينية إنما يسيء إلى التقنية الحيوية؛ حيث إنه ينشر المخاوف من انتشار الاستنساخ بين بني البشر فضلاً عن الاستنساخ بين النباتات والحيوانات، وهذا يعمينا عن الجوانب المفيدة الكثيرة فيها. فالهندسة الجينية – على سبيل المثال – تمكننا من معالجة عدد من الأمراض البشرية، أما المعالجة الجينية فقد تصبح – كما يشير ميشيو كاكو في فصله – سلاحاً مهماً في مواجهة الأمراض المختلفة.

وتُعدُّ الزراعة من المجالات المهمة التي استفادت بالفعل من الهندسة الجينية. فقد بذل بنو البشر طوال قرون مضت جهوداً مضنيةً لمزج سلالات المحاصيل المختلفة؛ بهدف التوصل إلى أكثر السلالات إنتاجية ومرونة. وقد مرت أجيال متعاقبة ودورات زراعية متلاحقة قبل أن نتمكن من تطوير الأنواع النباتية. أما الآن ففي وسعنا – بفضل التقنية الحيوية – أن نصل إلى النتيجة نفسها من خلال دمج تجارب تمت على مدى أجيال متلاحقة دفعةً واحدةً في المختبر لنحقق «زيادة في الجودة والنوعية والتوزيع الجغرافي للإنتاج في الوقت نفسه».[13]

ويرى راي جولدبيرج (Ray A. Goldberg) في الفصل التاسع «التقنية الحيوية والصناعة الزراعية في المستقبل» أن ما يُسمى "الثورة الخضراء" الرامية إلى الحد من الجوع في العالم إنما يعتمد – إلى حد بعيد – على التعديلات الجينية التي تمكن المحاصيل من مقاومة ظروف المناخ والتربة القاسية. وفي سياق الثورة الجينية الراهنة فإن قضايا منظومة التغذية العالمية لا ترتبط بالإنتاجية فحسب، بل بالبيئة والتجارة العالمية والتغذية والسلامة الغذائية والصحة والاستقرار السياسي في دول العالم ومناطقه. وهي مرتبطة أيضاً بقضايا الوصول إلى التقنية وقيود الملكية الفكرية. وإذا لم نتوصل إلى اتفاق بشأن هذه القضايا الحاسمة فإن ذلك سيشكل تهديداً للتنمية الاقتصادية في الدول النامية والدول المتقدمة معاً، بيد أن الأثر الأعظم سيقع على الدول والشعوب الفقيرة. يقول بالازس وآخرون (Balazs et al.) في كتاب **إدارة الموارد البيولوجية: ربط العلم بالسياسات العامة** (*Biological Resource Management: Connecting Science and Policy*):

> رغم أن عملية التغيير في السلالات النباتية كانت في البداية تجريبية، غير أنه سرعان ما أدرك بعضهم الإمكانات التجارية للسلالات المحسنة من النباتات، مما خلق سوقاً دوليةً متسارعةً للمنتجات الزراعية بعد تعديلات التقنية الحيوية.[14]

إن الإنجازات المذهلة في مجال النباتات يمكن أيضاً تحقيقها في مجال الحيوانات؛ حيث تبدو المنافع المتوقعة في مجال تربية الحيوانات مذهلةً أيضاً، والشيء نفسه صحيح في مجال علم الحيوان والمحافظة على الأنواع الحيوانية بما يضمن تنوعاً حيوياً عالمياً. ويعطي الكتاب السابق وصفاً بليغاً لفوائد التقنية الحيوية في مزارع الأسماك، وهو المورد المستنزف في الكثير من دول العالم الثالث، التي يمكنها أن تلبي الطلب المتزايد في الدول المتقدمة. ويضيف الكتاب:

> ويمكن أن تؤدي التقنية الحيوية دوراً مهماً في التحديد، ومن ثم التعديل، للعوامل الجينية المضيفة التي تتحكم في الصفات أو السمات ذات المنفعة الاقتصادية، ومنها: معدل النمو، ونضج المخزون، والتحول الغذائي الفعال، والتغذية الفعالة، ومقاومة الأمراض، وشكل الجسم ولونه، وتحمل الحرارة، وتحديد الجنس.[15]

غير أن لبعض الدارسين رأياً مخالفاً تماماً؛ إذ يرى هؤلاء أن ذلك لن يساعد في المحافظة على التنوع البيئي، وهم يرون - أيضاً - أن التغييرات الجينية في النباتات والحيوانات قد تؤدي في واقع الأمر إلى انقراض أنواع معروفة من الحيوانات والنباتات، الأمر الذي قد يوقع أضراراً على البيئة لا يمكن تقويمها لاحقاً. ويرى ريتشارد أوليفر (Richard Oliver):

> أن فهماً عميقاً لعلم الأحياء الجزيئي يجعلنا نبصر علاقةً أساسيةً تتمثل في وحدة كل أشكال الحياة عند المستوى الخَلَويِّ. وأن دليلاً جديداً كهذا يجعلنا نصب اهتمامنا على معالجة قضية التنوع الحيوي بحذر وحيطة، بل يؤكد حاجتنا إلى ذلك.[16]

إن الآراء المتفاوتة، والمتعارضة بقوة أحياناً، حول مثل هذه القضايا إنما تخلق حاجةً ملحةً إلى إجراء حوار عام ذي طبيعة عقلانية حول الجوانب المختلفة لعصر التقنية الحيوية. ويتعين علينا جميعاً أن نطلع على التطورات الحادثة في مجال التقنية الحيوية وأن ننقل آراءنا إلى المنتديات المؤثرة في صنع القرار. وكما يشير جيرمي ريفكن في كتابه **قرن التقنية الحيوية**

فإن «الهندسة الجينية تمثل أعظم آمالنا وتطلعاتنا من جهة، وأعظم مخاوفنا وهواجسنا من جهة أخرى».[17] ومن الواضح أن هناك حاجةً ملحةً لمناقشة سبل تحقيق آمالنا وتطلعاتنا من دون أن تحقق أعظم مخاوفنا.

من أهم سمات عصر التقنية الحيوية أنه يمكننا من خلال تغيير الخلية والذرة، اللتين تشكلان أساس الحياة والمادة على التوالي، أن نطور مواد جديدة قادرة على تغيير جوانب حياتنا كافة، بدءاً من الرعاية الصحية والتغذية، وانتهاء بالمواد التي نستخدمها، والبيئة التي نعيش فيها. بل ستتغير - بفعل ذلك أيضاً - أعمالنا التي تكسبنا دخلنا وطرائق حربنا ودفاعنا عن أنفسنا.

وفي الماضي طور العلماء مواد موجودة إلى مواد معدلة أو محسّنة، ولكن بفضل التقنيات الجديدة يمكن للعلماء اليوم أن يُخلِّقوا مواد جديدة من خلال تعديل التركيبة الذرية. وبتعبير آخر، يعدِّل العلماء التركيبة الذرية للمواد لتخليق مواد محددة سلفاً. ويؤيد جون بيرس (John Pierce) هذا الرأي في الفصل الثامن «التقنية الحيوية ومستقبل المواد»؛ حيث يشير إلى أن علم الأحياء أضحى مصدراً للإلهام عند إنتاج المواد، والهدف في نهاية المطاف هو التوصل إلى طرائق لتشكيل المواد الموجودة بيننا بطرائق مختلفة. إن مثل هذا المنهج في إنتاج المواد سيقلل الضغط على المواد الطبيعية في العالم ويقلل استهلاك الطاقة في عملية التصنيع. ويرى بيرس أنه في غضون عقدين من الآن - وبفضل المواد الخام الرخيصة، والأنزيمات الجديدة والرخيصة معاً، وإنتاج المواد الجديدة ذات القيمة الفائقة بتكلفة منخفضة - سيحل علم الأحياء والتقنية الحيوية محل الهندسة والإنتاج الكيميائي. وهذا يخلق آفاقاً جديدةً في مجال أبحاث المواد وإنتاجها، ويبشر بتنمية مستديمة وبما يقترن بها من منافع جديدة للبيئة والبشرية جمعاء.

ثم ابتكر ريتشارد أوليفر مصطلح (bioterials)؛ ويعني "المواد الحيوية"، وذلك للإشارة إلى التطبيقات التجارية للتقنية الحيوية. ويخفي هذا المصطلح الحدود الفاصلة بين المواد العضوية والمواد غير العضوية؛ وذلك من خلال خلق مادة مُهجَّنة في فئة منفصلة

بعينها. وفي هذا السياق يقول أوليفر: إن الإنسان قد سخَّر الطاقة في عصر الصناعة، بينما سخَّر الشبكات وطاقاتها في عصر المعلومات، ثم وصلنا إلى عصر المواد الحيوية وهو عصر النسخ المتطابقة غير المنتهية، وهو يمثل نموذجاً اقتصادياً جديداً.[18] ويبدو أن قضية المواد الحيوية لم تلقَ الاهتمام الذي تستحقه في سياق المناقشات حول التقنية الحيوية. غير أن هذه القضية تهم الباحثين والمستثمرين معاً؛ حيث إن التطبيقات التجارية للابتكارات التقنية الحيوية هي التي تحقق الأموال اللازمة لاستثمارات ودراسات جديدة. ولن تؤثر هذه التطبيقات التجارية في المنتجات المتاحة للمستهلكين في الأسواق، بل ستؤثر في الطريقة التي تصنع فيها هذه المنتجات. واختصاراً يمكننا أن نقول: إن التقنية الحيوية ستؤثر في الصناعة وعملياتها.

ومن التطورات التي أحدثت ثورة في تقنية الحاسوب تصنيع "الحاسوب الجزيئي". ويصف ريفكن الحاسوب المذكور بأنه «آلة مفكرة ذات أسلاك من الدنا عوضاً عن السيليكون».[19] وهذا لا يعلن اقتران علم الأحياء بالحواسيب فحسب، بل إنه يضيف بُعداً جديداً إلى المعلوماتية الحيوية. ويرى ريفكن أن الحوسبة ستتم – في القريب العاجل– عبر الدنا (DNA) وليس من خلال الرقائق الدقيقة التقليدية.[20] وهو يصف الدنا بأنها آلة حوسبة كبيرة قادرة من الناحية النظرية على حساب مئة مليون مليار عملية في التو واللحظة.[21] ويؤكد ريتشارد أوليفر أهمية الحاسوب الجزيئي في عصر التقنية الحيوية قائلاً: إن حواسيب الرقائق الدقيقة تعمل بسرعة الضوء، غير أنها «بطيئة للغاية حسب مقتضيات ومتطلبات العالم الجديد».[22]

ومن أهم المجالات التي تأثرت بالتقنية الحيوية مجال العقاقير الدوائية. ويشير ألان هابرمان (Allan Haberman) في الفصل الحادي عشر «التقنية الحيوية ومستقبل صناعة العقاقير الدوائية» إلى أن صناعة العقاقير الدوائية العالمية تواجه تحدياً كبيراً. وقد توصل علماء الحياة إلى مجموعة كبيرة من التقنيات والاكتشافات العلمية المهمة التي يمكن من خلالها تطوير أدوية وعلاجات غير مسبوقة. وهناك الآن شركات تقنية حيوية عملاقة منافسة للشركات الدوائية المتعددة الجنسيات التي استغلت حتى الآن الطبيعة الكيميائية

للأدوية في صناعاتها وتحقيق أرباحها. وقد وصلت صناعات العقاقير الدوائية إلى مرحلة مستقرة، بمعنى أنها لن تشهد صعوداً كما في السابق، بسبب التكلفة الباهظة للأبحاث والتطوير ونفاد براءات الاختراع الخاصة بالعقاقير التي تحقق لها أرباحها؛ لذا عمدت الشركات الدوائية العملاقة إلى تبني عدد من الاستراتيجيات لمواكبة الابتكارات في مجال الرعاية الصحية، ومنها إعادة هيكلة برامج الأبحاث والتطوير المعتمدة لديها، وشراء شركات أبحاث التقنية الحيوية، أو عقد شراكات معها. وإذا ما أرادت صناعة العقاقير الدوائية أن تضمن مستقبلها، فإن عليها أن تتبنى استراتيجية للاستفادة من التقنيات الحيوية الجديدة بشكل فعال في تطوير عقاقير جديدة، وأن ترصد الفرص العلمية السانحة، وأن تلبي الحاجات الاجتماعية.

وستؤثر التغيرات التي سيشهدها القطاع الصناعي في عصر التقنية الحيوية في سوق العمل، وفي استخدام الطاقة، وإدارة المخلفات الصناعية، وطرائق الإنتاج وحجمه. كما ستؤثر بشكل مباشر في الأرباح المتحققة من تطبيق التقنيات. ففي مجال المخلفات الصناعية – على سبيل المثال – ثمة احتمالات واعدة للاستفادة من عوامل بكتيرية معدلة جينياً قادرة على تحويل المخلفات الصناعية إلى مواد غير ضارة، بل قد تحولها إلى مواد ذات فائدة تجارية. ومن الممكن أيضاً تطوير مواد ذكية قادرة على تغيير سلوكها يوماً بعد آخر مستفيدةً من فشلها في أحوال معينة.[23] وهناك أدلة واضحة على وجود بيئة تنافسية دولية مبنية على ما يتم تحقيقه من إنجازات في مجال الأبحاث وفي إضفاء السمة التجارية على التقنية الحيوية.

ومن المؤكد أن التقنية الحيوية ستثير قضايا مهمة ومعقدة إلى حد بعيد، وهي بحاجة إلى مراعاة ملحة من الحكومات الوطنية والهيئات الدولية. وتمتد تداعيات التقنية الحيوية إلى مجالات رئيسية؛ مثل: التجارة والرفاهية الاجتماعية والبيئة. وفي أحوال عدة تبدو النظم التشريعية غير قادرة على مواكبة مضامين ثورة التقنية الحيوية. ومن الأمثلة البسيطة على ذلك عدم ملاءمة شهادة الميلاد التقليدية والهوية الشخصية التقليدية للأفراد المستنسخين. ويبقى الوضع القانوني للأبناء المستنسخين، في حال حدوث ذلك، غير محدَّد تماماً، وهو ما يبين بوضوح تأثير التقدم في مجال العلوم البيولوجية في نظم الدولة.

ومن القضايا المهمة - وطنياً وعالمياً - قضية براءات الاختراع الخاصة بمبتكرات ثورة التقنية الحيوية. فالبراءات المذكورة ليست موضع جدل في الدوائر التجارية فحسب؛ بل إن قضية براءات الاختراع الخاصة بالخلايا الجذعية - على سبيل المثال - لها أبعاد أخلاقية عميقة، وهي بحاجة إلى منهجية واعية ودقيقة تتبناها الحكومات الوطنية والمؤسسات الدولية. وهنا يشير جلين ماكجي إلى أن أهمية الاستجابة القانونية لإنجازات التقنية الحيوية تزداد يوماً بعد آخر، وخاصة فيما يتعلق بتحديد أطر الأبحاث العلمية وتحديد النطاق المسموح به لتطبيقات التقنية الحيوية. وفي هذا السياق يقول جريجوري ستوك: إن التقنية في مجال الطب - على سبيل المثال - تزداد قوةً يوماً بعد آخر، وهنا تواجه التقنية تحدياً يتمثل في قدرتها على خدمة البشرية وتكاملها مع المعرفة البشرية الحالية والممارسات البشرية القائمة. وفي الوقت الراهن تجري أبحاث الخلية الجذعية في منطقة غير واضحة المعالم من الناحية القانونية؛ لذا فإن مثل هذه الأبحاث لم تتلق تمويلاً حكومياً يذكر، وهذا يجعل الشركات الخاصة الممول الأول لها. وهذا - أيضاً - قد يؤدي في نهاية الأمر إلى تركز حقوق الملكية الفكرية في يد مجموعة محدودة من الشركات، وهذا يثير - كذلك - قضايا أخلاقية ويخلق عقبات في طريق الوصول إلى إنجازات التقنية الحيوية. وتبقى قضية الأخلاقيات الحيوية مطروحةً لتثير معها جدلاً حاداً حول سبل تحديد الأخلاقيات المقبولة لدى كل المعنيين بعصر التقنية الحيوية والقائمين عليه.

ويشير جيرمي ريفكن في الفصل الثاني المعنون «ما تعنيه التقنية الحيوية لمستقبل البشرية» إلى القلق من أن يملك أطراف معنيون حقوق ملكية الجميعة الجينية، لأن من شأن ذلك أن يعطي هؤلاء الأطراف قوةً غير مسبوقة على الإطلاق في إملاء شروطهم على البشرية وأجيالها حاضراً ومستقبلاً. وفي الوقت الحاضر، تُعدُّ الجينات، من الناحية القانونية، ملكيةً فكريةً للجهات التي تكتشفها. وهذا يخالف - صراحةً - مفهوم القيمة الأصيلة للحياة ويجعلها سلعةً ذات قيمة. وعلاوةً على ذلك يشير ماكجي إلى عددٍ من القضايا القانونية المرتبطة بالتقنية الحيوية وفرصها، ومنها: سرية المعلومات الصحية، والمسح الجيني للمجرمين وموظفي الخدمة المدنية، والتمييز العنصري على أسس جينية. ولهذه القضايا أبعاد أخلاقية لا تخفى على أحد.

وتعدُّ أخلاقيات التمييز على أسس جينية من القضايا التي سيكون لها تأثيرات واسعة. وهناك مخاوف من أن يمتدَّ هذا التمييز إلى مجالات مثل التعليم؛ بحيث تقرر المؤسسات التعليمية قبول الطلبة أو رفضهم انطلاقاً من بنيتهم الجينية. كما تثارُ قضية التمييز الجيني في مجالات التوظيف والتأمين. وعلى حدِّ تعبير أوليفر «فإن هناك مخاوف من أن يتخذ أرباب العمل وشركات التأمين قراراتهم انطلاقاً من نتائج الاختبارات الجينية والتي لا تحدّد إلا جوانب معينة من شخصية المرء».[24] وهذه المسألة من القضايا العامة التي تثير مخاوف معينة. غير أن أوليفر يشير - أيضاً - إلى كريج فينتر (Craig Venter) من مؤسسة سيليرا للدراسات الجينومية (Celera Genomics Corporation) الذي يرى أن «المعلومات الجينية التي نعرفها عن شخص بعينه مربكة إلى حد بعيد ولا يمكن أن نأخذها بجدية».[25]

ومن المؤكد أيضاً أن يكون للتقنية الحيوية تأثير بارز في العلاقات الدولية، كما أنها ستؤثر في الأنشطة القائمة بين الدول.[26] ومن أهم المجالات في هذا السياق التقنيات المطبقة على الدفاع الوطني، والتقنيات ذات القيمة التجارية البالغة التي من الممكن أن تخلق منافسةً اقتصاديةً حادةً بين دول العالم، علاوةً على التوتر الذي قد تخلقه قضايا حقوق الملكية. ومن المجالات الأقل أهمية حقوق الملكية الفكرية الخاصة بالجرثومة الوراثية لبعض النباتات التي موطنها دول العالم الثالث، بينما يستغلها علماء دول العالم الأول في تحقيق ابتكارات في مجال التقنية الحيوية. ولمثل هذه القضايا تأثير مباشر في القانون الدولي، ولاسيما القانون التجاري وقوانين حقوق الملكية، ولابدّ من تنظيمها دولياً لدى المؤسسات ذات العلاقة، ووطنياً لدى مؤسسات الدولة ذات المسؤولية. وليس هناك من تقنية جيدة أو سيئة بحدِّ ذاتها.

إن تأثير الكائنات الحية المعدلة وراثياً في البيئة العالمية قضية تثير اهتماماً دولياً، بكل مضامينها القانونية والاجتماعية والبيئية. ويسعى علم الجينوم لرسم خريطة جينومية تبين الجينومات وتسلسلها وتحليلها؛ لتحديد بنية كل جينة في كائن حي ما، ووظيفتها. ولم يحقق العلم إلا القليل القليل في هذا المجال. ويقدر العلماء أن الكائنات الوحيدة الخلية التي تم توثيقها جينياً لا تتعدى حدود 1٪، فضلاً عن الكائنات المتعددة الخلايا.[27]

ويقول ريفكن – ونحن في بداية الدراسات الجينومية – إنه ليس ممكناً بعد أن نتنبأ بكيفية تفاعل الكائنات المعدلة وراثياً مع النظام الحيوي الذي سيتم إطلاقها فيه. فالحدود السياسية الدولية لن تحد انتشار الكائنات الدقيقة المعدلة وراثياً أو مخلفات عمليات التقنية الحيوية. وبحسب ديل وإيروين (Dale and Irwin) – كما جاء في كتاب بالازس وآخرين – فإن توافر «الفرص الجديدة السانحة لتغيير البنية الوراثية للنباتات يضع على كاهلنا مسؤوليات جديدة بشأن سلامة ذلك، وذلك للحؤول دون حدوث آثار عكسية على صحة الإنسان وبيئته».[28] ويضيف كتاب بالازس «أن دراسات تقويم المخاطر إنما هي جزءٌ لا يجتزأ من عملية إنتاج الأجناس المعدلة وراثياً وعرضها في الأسواق».[29] إن سرعة وتيرة دراسات التقنية الحيوية وإضفاء الصبغة التجارية على منتجاتها إنما يفرضان على الحكومات الوطنية والمؤسسات الدولية أن تضع آلية تنظيمية ملائمةً لإجراء دراسة تقويمية لسلامة منتجات التقنية الحيوية المستحدثة، وضمان استخدام التقنيات الجديدة الاستخدام الأمثل مع مراعاة صارمة لمعايير السلامة والأخلاقيات والمسؤولية الدولية.

وبرغم أن كل عصر تقني جديد أدى إلى وصول مكتسبات ذلك العصر إلى عددٍ أكبر من الناس يفوق العصر الذي سبقه فلابد من التخطيط لهذا العصر بصورةٍ متأنيةٍ وتنفيذ الاستراتيجيات الموضوعة بشكل فعال؛ لضمان توزيع أكثر عدلاً للمنافع المحتملة لهذا العصر. وليس صعباً أن نرى أن دول العالم الأول تمضي قدماً في مجال علوم الحياة وما يرافقها من ابتكارات التقنية الحيوية، وبالمقابل ستجد دول العالم الثالث نفسها معتمدةً إلى حد بعيد على العالم الأول، بما يعمِّقُ الحدود الفاصلة بين دول العالم ويؤدي بالمحصلة إلى تدهور الاستقرار العالمي. وسيكون لمثل هذا الاعتماد آثار مدمرة على الأمن الداخلي للدول الأقل تقدماً، ولربما يؤدي ذلك إلى اشتعال صراعات بين الدول وانتشار المعاناة.

وفي سياق الأمن القومي والأمن الدولي فإن التقدم الذي يشهده حقلا علم الأحياء والتقنية الحيوية، مقروناً بسهولة انتشار المعرفة إعلامياً بفضل الحاسوب والإنترنت إنما يعني ضمناً أن ابتكارات التقنية الحيوية ستكون متاحةً للدول والأفراد معاً، وهذا يمثل في حد ذاته تهديداً للسلام والاستقرار على الصعيدين القومي والدولي. وتشير سو بايلي

(Sue Bailey) في الفصل السادس المعنون «الإرهاب الحيوي والأمن القومي» إلى أن الإنسان قد عرف الحرب الحيوية طوال عقود، وربما قرون. غير أنها تبين المخاطر المتنامية المرتبطة بانتشار الأسلحة الكيميائية والبيولوجية والنووية في عالم غير مستقر على الصُّعد الاقتصادية والسياسية والعسكرية. إن وضعاً كهذا من شأنه أن يزيد فرصة استخدام أسلحة الدمار الشامل بطريقة لا تماثلية أو في أعمال إرهابية. غير أن التقنية الحيوية لها فوائدها من الناحية الأمنية، فهذه ستمكننا من التعرف على المجرمين وتبرئة امرئ ما من تهمة ما. ومن المجالات المحتملة في هذا السياق البصمة الوراثية وبصمة شبكية العين، وهذان الجانبان من التقنية واعدان في مجال تبسيط إجراءات التعرف على شخص ما.

ولو ألقينا نظرةً سريعةً على ابتكارات التقنية الحيوية لرأينا أن المجالات الرئيسية التي ستتأثر بفضل التقدم في علوم الحياة هي التلوث والمجاعة والمرض والطاقة وإدارة الفضلات النووية. إن هذه الجوانب تثير قلقاً عالمياً وخاصةً في الدول الأقل تقدماً. وفي محاولة لمعالجة الخلل في التنمية العالمية وتقليل الفروقات بين الدول النامية والدول المتقدمة، أدركت بعض المنظمات الدولية وعلى رأسها: منظمة الصحة العالمية، ومنظمة الغذاء والزراعة (الفاو)، ومنظمة التربية والعلوم والثقافة (اليونسكو) الفوائد الكامنة في الصحة والزراعة، فجعلها كل ذلك تهتم اهتماماً بالغاً بالتقنية الحيوية بالنيابة عن دول العالم الثالث. ويتضمن ذلك تقديم النصيحة لصناع السياسات العامة وتقديم التعليم والتدريب اللازم لشراء المعدات البحثية. إن التقنية الحيوية – على حد تعبير ميشيو كاكو – تختلف عن التقنية النووية من حيث إن الكلفة الأولية غير مهمة إلى حد ما، كما أن هناك معيناً معرفياً مجانياً حول التقنية الحيوية على الإنترنت. وهذا يسهل وصول الدول الفقيرة ويتيح الفرصة لها لتكون طرفاً في التقنية الحيوية. ولكن يبقى الفرق في الموارد بين الدول المتقدمة اقتصادياً والدول الأقل تقدماً هماً قائماً، ولابد من فعل المزيد إذا ما أردنا أن يكون عصر التقنية الحيوية عالمياً بحق وأن يكون فيه منفعة للبشرية جمعاء.

لقد شاعت المناظرات حول أخلاقيات التقنية الحيوية في عدد من الدوائر الحكومية والأكاديمية وبين رجال الأعمال. وبات ضرورياً أن نضمن أن تخترق هذه المناظرات كل

مستويات المجتمع إذا ما أردنا أن نحقق إجماعاً واسعاً حول نطاق التقنية الحيوية وعمقها واتجاهها. ولابد أن نذكر هنا أن التقنيات كافة لها بعد أخلاقي معين، وليس هناك من تقنية تخلو من مثل هذا البعد، كما أنه ليس هناك من ابتكارات حتمية. ولابد من دراسة دقيقة وصارمة – في كل الأزمنة – للابتكارات العملية كافة لنقرر ملاءمة إسهاماتها ونوعيتها. وفي هذا السياق يقول جريجوري ستوك: إن التغيرات العميقة واقعة لا محالة، ونحن لسنا مهندسي الثورة التقنية فحسب، بل نحن مادتها. ونحن نعيش الآن عصر التقنية الحيوية الذي تمتد آثاره إلى أرجاء العالم كافة. وعلينا الآن أن نحدد نطاقه واتجاهه وسرعته. ولابد أن يكون الحوار حول أخلاقيات التقنية الحيوية واعياً وعقلانياً وعميقاً وواسعاً. وهناك حاجة ملحة الآن إلى تعريف عصر التقنية الحيوية وتعريف مضامينه الواسعة والممتدة، تعريفاً واضحاً خاصةً وأن الساحة الدولية الآن مهيأة لمناقشة هذه القضية.

القسم الثاني

اتجاهات وتوقعات

الفصل الأول

التطورات في مجال التقنية الحيوية

ميشيو كاكو

عندما اقترحت ثلة قليلةٌ من علماء الأحياء فكرة مشروع الجينوم البشري في ثمانينيات القرن المنصرم أول مرة كانت ردة الفعل السائدة سلبيةً؛ إذ رأى بعض العلماء أن الأمر سيكلف أموالاً كبيرة تفوق كل التوقعات، كما أنه سيستغرق وقتاً طويلاً ويتطلب موارد كثيرة. وقد تم بالفعل وضع التسلسل الخاص بمجموعة محدودة من الجينات وبتكلفة بالغة، ورأى بعض العلماء حينئذٍ أنه من الأفضل ألا نُعجِّل في وضع التسلسل الخاص بالجينوم البشري كاملاً، وأن تمويل هذا المشروع قد يحرمنا من تمويل مشروعات أخرى من الأولى أن نهتم بها.

أما اليوم فقد أدركنا أن تلك التوقعات المتشائمة، في معظمها، لم تكن موفقةً، ومردّ ذلك في بعضه إلى قانون مور (Moore's Law). لقد نجحنا الآن في أتمتة وضع التسلسل الجيني بفضل حقيقة أن قوة الحواسيب تتضاعف كل 18 شهراً، بل إن النتائج العملية يتم تبادلها عبر الإنترنت فور التوصل إليها. ولعل ذلك من أهم الأسباب التي تُعجِّل بالوتيرة المتسارعة للتقنية الحيوية أكثر من أي وقت مضى. وهذا بدوره تُرجم إلى قانون مور جديد للتقنية الحيوية، مفاده: أن عدد الجينات التي يتم وضع تسلسل لها يتضاعف كل عام. بل إن تكلفة وضع تسلسل لزوج أساسي من الدنا قد انخفضت من 5 دولارات في السابق إلى سنتات معدودة اليوم. وفي غضون العقدين المقبلين قد يكون في وسعنا أن نُشخِّص تسلسل الدنا، بل أن نصنِّف "موسوعة حياة" تضم كل أشكال الحياة الرئيسية التي فككنا شفرتها.

ويمكننا بفضل قانون مور الجديد أن نضع توقعاتٍ تقريبيةً لتقدم التقنية الحيوية في الأعوام العشرين المقبلة. وبرغم أن التوقعات الواردة هنا مبنية على معلومات منقوصة - وهذا أمر لا مفر منه في الوقت الراهن- فإننا نأمل أن تشكِّل دليلاً مفيداً لوضع توقعات مقبولة ومعقولة للمستقبل.

وتنطلق التوقعات الواردة في هذا الفصل من مقابلات أُجريت مع مائة وخمسين عالماً من أبرز علماء العالم اليوم؛ إذ حصل الكثير منهم على جائزة نوبل، بينما يدير بعضهم أهم المختبرات العلمية في العالم؛ وقد دار الحوار في المقابلات المذكورة حول تصوّر هؤلاء لما سيكون عليه العلم ما بين السنوات العشرين والخمسين المقبلة. وقد أوردتُ الكثير من هذه التوقعات في كتاب ألفته تحت عنوان رؤى: **الثورة التي سيحدثها العلم في القرن الحادي والعشرين** (*Visions: How Science Will Revolutionize the 21st Century*). وبطبيعة الحال، قد يثبت خطأ بعض هذه التوقعات، غير أن التوقعات الواردة هنا ليست مجرد تكهنات لا أساس لها، بل هي تعكس وصفاً دقيقاً إلى حدٍّ ما لرؤية خبراء التقنية الحيوية لتطور مجال عملهم.

التقدم في الأعوام الخمسة المقبلة

إذا ما أخذنا وتيرة الاكتشافات العلمية التي نشهدها الآن بالحسبان، فإن لنا أن نتوقع وتيرة التقدم في غضون الأعوام الخمسة المقبلة في المجالات الآتية:

الخلية الجذعية

الخلايا الجذعية هي "أم الخلايا". وهي تتخلق في الرَّحم في نهاية الأمر إلى نحو مائتين من الأنسجة التي تشكل في المحصلة جسم الإنسان. لذا فإن لنا أن نعدَّ إمكان عزل الخلايا الجذعية الجنينية ونموها في المختبر إنجازاً علمياً باهراً خلال الأعوام الخمسة المنصرمة. وبرغم أن الخلايا الجذعية التي تم عزلها حتى الآن معدودة، ومنها على سبيل المثال خلايا الدم والغضروف والعظم وغيرها، وذلك في نحو مائة خط خلية، فإننا سنصل في نهاية المطاف إلى الخلايا الجذعية التي تشكّل جسم الإنسان. ولعلّ هذا الاختراق العلمي يؤذن بأن نتمكن في نهاية المطاف من إنشاء "محل قطع غيار بشرية"؛ بحيث يتم استبدال الأعضاء البشرية بعد اهترائها أو مرضها أو إصابتها.

وخلال الأعوام الخمسة المقبلة ستقترن هذه التقنية بتقنية "هندسة الأنسجة" التي توظف "مفاعلات" خاصة لنمو أنسجة بشرية بسيطة في شكل عضو بشري ثلاثيّ الأبعاد. وسيكون ممكناً أن نشكّل أعضاء بشرية بسيطة من العظم والغضروف والأنسجة

الأخرى، من خلال حقن خلايا عادية مختزنةٍ لوظائفها المناعية في سقالةٍ بلاستيكيةٍ تشبه الإسفنجة (من حمض متعدد غليكول الأثيلين مثلاً)؛ على أن تأخذ السقالة شكل العضو البشري المراد زرعه وتخليقه. وما إن تتحلل السقالة البلاستيكية بنفسها حتى نجد أن ما يبقى هو نسخة حقيقية ومطابقة للعضو البشري. وقد استطعنا فعلاً بفضل هذه الطريقة أن نخلِّق جلداً اصطناعياً، وأنفاً اصطناعياً، وصمامات قلب اصطناعية، بل مثانة اصطناعية. ومن روّاد هذه التقنية علماء معهد ماساشوستش للتقنية (Massachusetts Institute of Technology) ومستشفى الأطفال في بوسطن.

وعندما نقرنُ تقنية هندسة الأنسجة بتقنية الخلية الجذعية فإننا سنتمكن خلال خمسة أعوام من أن نخلِّق أعضاء أكثر تعقيداً مثل الكبد والبنكرياس (تتألف من مجموعة من الأنسجة المختلفة). وقد يكون لذلك أعظم الأثر في زراعة الكبد وفي معالجة مرض السكري. وسيبقى التحدي الماثل أمامنا هو صناعة الأعضاء ذات البنية المعقدة لأنها تتألف من أشكال مختلفة من الأنسجة ذات الأبعاد الهندسية المعقدة.

المعالجة الجينية

هنالك نحو خمسة آلاف مرض وراثي معروف (منها على سبيل المثال التليُّف الحَوْصَلي (cystic fibrosis) الذي يصيب الأوربيين في شمالِّي القارة أكثر من غيرهم؛ ومنها أيضاً الأنيميا المنجلية (sickle anemia) التي تصيبُ الأفارقة أكثر من غيرهم؛ ومنها النُّزافُ (hemophilia) الذي أبادَ فروعاً كثيرةً من العائلات الملكية الأوربية). وفي حقيقة الأمر فإننا جميعاً نحمل ما بين 6 جينات و12 جينةً تقريباً قد تكون قاتلةً.

أما في المعالجة الجينية فيمكننا أن نقوِّم الجينة "السيئة" من خلال حقن الجينة "الجيدة" في ناقلٍ (وهو في العادة فيروس غير ضارٍّ) ومن ثمّ حقن المريض بهذا الفيروس. فيتكاثر هذا الفيروس بوتيرةٍ سريعةٍ حاقناً الجينة "الجيدة" في خلايا الجسم. ويمكن أيضاً تقويم الخلايا المصابة وتهذيبها خارج الجسم لزيادة عددها، ومن ثم حقنها مرة أخرى في الجسم. أما الهدف المرجو – الذي لم يتحقق حتى الآن – فهو حقن كل خلايا الجسم لتحل محل الجينات القاصرة.

وقد شهد عام 2002 – بعد عدد من التجارب المخفقة (ووفاة أحد الذين أجريت التجربة عليهم في جامعة بنسلفانيا عام 1999) – أول تجربة ناجحة في المعالجة الجينية. وقد سُجِّلت هذه التجربة في العاصمة الفرنسية باريس؛ إذ شهد مستشفى نيكر لأمراض الأطفال (Hopital Necker-Enfants Malades) أول معالجة جينية ناجعة لأربعة صبيان كانوا يعانون من متلازمة نقص المناعة المُجَمَّع الحادّ (Severe Combined Immunodeficiency Syndrome)، وتعرف أحياناً باسم "متلازمة صبيّ الفقاعة" (Bubble Boy Syndrome) حيث يفتقر الطفلُ المصابُ بهذه المتلازمة إلى نظام مناعة يعمل بشكل تام. ولا يعاني الصبيان الأربعة حالياً نسبياً هذه المتلازمة، وفي وسعهم أن يعيشوا خارج بيئة مُصطنعة ومغلقة.[1]

وتتوقع جمهرة العلماء أن تمتد هذه النتيجة الواعدة خلال الأعوام الخمسة المقبلة إلى مجموعة من الأمراض الجينية الأخرى، تتراوح بين خمسة أمراض وعشرة. وعلى سبيل المثال، حقَّق العلماء في جامعة واشنطن نجاحاً أولياً في معالجة السَّغل العضلي (muscular dystrophy) عند فئران المختبرات، من خلال حقنها بجيناتٍ مُعدَّلة. وهذه أخبارٌ طيبةٌ ومشجعةٌ لنحو 12000 شخص يعانون هذا الدّاء في الولايات المتحدة الأمريكية وحدها.

وفي عام 2001 تمكن علماء جامعة كاليفورنيا في سان دييغو من معالجة أول حالة ألزهايمر من خلال المعالجة الجينية؛ إذ تم حقن امرأة في الستين من عمرها بخلايا تمت معالجتها بمعامل نمو العصب للحؤول دون موت الخلايا الدماغية، وهذه هي السمة المميزة لمرض ألزهايمر.[2]

غير أن المعالجة الجينية ستبقى في طور التجارب المخبرية ولن يستفيد منها العامّة في الأعوام المقبلة؛ ومع ذلك فإنها ستحدث حتماً ثورةً في نظرتنا إلى الطبِّ بما أننا سنكتشف يوماً بعد الآخر أن عدداً من الأمراض الشائعة لها أسباب جينية.

الشيخوخة

في عام 1900 بلغ متوسط عمر الإنسان في دولةٍ غربيةٍ مثل الولايات المتحدة الأمريكية 49 عاماً. وبفضل تحسن الأحوال الصحية ومستويات المعيشة عموماً زاد متوسط عمر الإنسان 15 عاماً أخرى. وبفضل المضادات الحيوية والتلقيح ضدّ الأمراض والجراحة

- أيضاً - ارتفع متوسط عمر الإنسان 10 أعوام أخرى. وسيتزايد هذا الرّقم شيئاً فشيئاً في المستقبل، ولكن ليس بالوتيرة ذاتها. وإذا ما أردنا أن يبلغ متوسط عمر الإنسان 80 عاماً فلابد من تطبيق معالجات جينية وجزيئية جديدة.[3]

ولا يتوقع العلماء أن نكتشف في العقود القليلة المقبلة "نبع الشباب"، غير أننا سنضع قواعد تفسير ظاهرة الشيخوخة على المستوى الجزيئي. وقد تمكن العلماء الآن في جامعة كولورادو وجامعة كاليفورنيا في سان فرانسيسكو من عزل الجينات المسؤولة عن إطالة عمر الكائنات البسيطة. وهذه الجينات خاصة بمخلوقات؛ مثل: الدودة الخيطية، وذبابة الفاكهة. وتحمل الجينات أسماء؛ مثل: Age-1 وAge-2 وDaf-2. وقد تمكن العلماء في جامعة كاليفورنيا في إيرفين وجامعة ماكجيل - بالتنشئة الانتقائية - من تخليق سلالاتٍ جديدةٍ من الدّودة الشريطية وذبابة الفاكهة تعيش عمراً أطول.[4] ويبدو أن جينات الشيخوخة - عند تحليلها تحليلاً دقيقاً - تنظم الأكسدة في الخلايا وهو ما يخلق أخطاء في الشفرة الجينية. وعلاوةً على ذلك تم عزل نحو سبعين جينة شيخوخة مماثلة في الإنسان، من خلال مقارنة جينات أشخاص في مقتبل العمر، وآخرين في مرحلة متقدّمة منه، كما تم عزل الجينات المتحوِّلة عندما يتقدّم الإنسان في السن.

وفضلاً عن ذلك - أيضاً - أدرك العلماء الآن أن الخلايا في أجسامنا ذات ساعة بيولوجية تخبر الخلية أن تموت عندما تحين ساعتها. فالخلايا الجلدية - على سبيل المثال - تصل إلى ما يُعرف باسم "حدِّ هيفليك" (Hayflick limit) وهو أن تتكاثر خمسين مرة قبل أن تموت. والسبب في ذلك أن نهايات الصِّبغيات تشبه إلى حدٍّ بعيدٍ فتيل القنبلة. فبعد كلّ تكاثر يقصر الفتيل (القُسَيْمَة النهائيّة telomere) أكثر فأكثر، إلى أن يختفي الفتيل وتتحلَّل الصِّبغيات. وقد استخدم العلماء في مؤسسة جيرون (Geron Corporation) في مينلو بارك بولاية كاليفورنيا القُسيمة الأنزيمية للحؤول دون انكماش القُسَيْمات النهائيّة، فيطيل ذلك عمر خلايا جلد الإنسان ويزيد تجدُّدها مئات المرّات، بشكل يفوق كثيراً ما يحدث في العادة.[5]

وخلال الأعوام الخمسة القادمة لن تترجم هذه النتائج المشجِّعة على الأرجح إلى اختراقات علمية باهرة يمكن أن تطيل عُمر الإنسان، غير أننا سنضع أسس فهم الشيخوخة على المستوى الجُزيئي.

الزراعة

من السَّهل التحكُّم بالنباتات مقارنةً بالحيوانات؛ ولذا فإن التقدم في تطبيق هذه التقنية على النباتات والمحاصيل الغذائية سيفوق مثيله عند الحيوانات. لقد استنسخ الإنسان النباتات (في شكل فسائل مثلاً)، وعدَّل في جيناتها (تهجينها وتوليد فسائلها) طوال آلاف السنين. ويُعَدُّ الكثير من المحاصيل الرئيسية المزروعة في كوكبنا (مثل الذرة) محصلةَ آلاف الأعوام من التعديلات الجينية على يد البشر. كما أنَّ دورة حياة النباتات قصيرة مقارنة بالحيوانات، وجيناتها أقلّ عدداً، ومن السَّهل تغييرها، وهذا يثير عدداً محدوداً من القضايا الأخلاقية مقارنةً بالحيوانات.

وفي البداية تركز تغيير الحياة النباتية في الصناعات الغذائية التي سعت لتطوير أغذية معدّلة وراثياً للأسواق الغربية. غير أن هذه العملية قد فشلت فشلاً ذريعاً، ولعلّنا قد ضيعنا أسواق الأغذية المعدّلة وراثياً نتيجةً لذلك حتى الجيل المقبل.

وخلال الأعوام الخمسة المقبلة سنكون قد تمكّنا من قراءة التركيبة الجينومية الكاملة للمحاصيل الغذائية كافة ذات القيمة التجارية. وهذا بالمحصلة سيمكّنُ من تطبيق هذه التقنية في دول العالم الثالث. وبسبب التكلفة المحدودة نسبياً للبدء بتطبيق هذه التقنية فإنّ دولاً مثل كوبا تملك صناعة تقنية حيوية ناميةً ونشيطةً في مجال الزراعة.

وقد يكون ممكناً خلال الأعوام الخمسة القادمة تطوير سلالاتٍ جديدةٍ من "الأرز الفائق" أو "الذرة الفائقة". وتتطلب هذه المحاصيل أسمدةً أقلّ، وتنمو في المناطق الجافة والمناطق غير المواتية، كما أنها تعطي محصولاً يفوق ما تعطيه النباتات الطبيعية. وهذه الثورة الخضراء الجديدة غير قادرة وحدها على إطعام الأعداد المتزايدة من السكان في العالم الثالث، غير أنها قد تخفِّف من وطأة الفقر والجوع إلى حدٍّ بعيد.

الاستنساخ

لقد قطع الاستنساخ خطوات عملاقة منذ ميلاد النعجة دوللي - أوّل نعجة مُستنسَخة - في عام 1997. ومنذ ذلك الحين تم استنساخ مجموعة من الحيوانات الداجنة، والحيوانات الأليفة. بل إننا نشاهد الآن جيلاً ثانياً من الحيوانات المستنسخة. غير أننا نعاني مشكلاتٍ

مزعجةً في هذا المجال تجعل الاستنساخ أمراً غير مواتٍ لبني البشر، في المدى القريب على الأقل، وتجعل الاستنساخ أمراً صعباً في الأعوام القادمة.

أولاً، لابد من التضحية بعددٍ كبير من الأجنة المُخلَّقة من أجل إتمام عملية استنساخ سليمة. ومردُّ ذلك إلى أنّ طرائق الاستنساخ المُتّبعة مازالت بسيطة وتعتمد - إلى حدٍّ بعيدٍ - على مبدأ الصواب والخطأ؛ وذلك بسبب الأضرار المتوقعة من إعادة تنشيط آلية تجدُّد الخلايا.

ثانياً، يسبِّب الاستنساخ عدداً كبيراً من العيوب الجينية فيؤدي ذلك إلى الإضرار بصحة الحيوان المستنسخ. وقد تبدو الحيوانات المستنسخة طبيعية غير أنها تعاني السُّمنةَ، والشيخوخةَ المبكِّرة، والتهاب المفاصل، وعدداً من المشكلات الصحية. وقد حلَّل فريق من العلماء في معهد وايتهيد (Whitehead Institute) التابع لمعهد ماساشوستش للتقنية عشرة آلاف جينة في الفئران المستنسخة، فاتضح لهم أن الاستنساخ يسبِّب عدداً كبيراً من الطفرات الجينية. وعلى سبيل المثال يعاني الفأر المستنسخ مئات العيوب الجينية.[6]

وهكذا، سيُقصَر الاستنساخ في الأعوام الخمسة المقبلة على تربية الحيوانات، وقد يستغل في حالات استثنائية محددة، كما سيكون استغلال هذه التقنية تجارياً على نطاق واسع أمراً محدوداً، وسينصبُّ الاهتمام في الأعوام القليلة المقبلة على تسوية المشكلتين الآتيتين: تقليل عدد الأجنة المخلقة غير القابلة للحياة، والحدّ من الطفرات الجينية التي يتسبب الاستنساخ فيها.

لهذه الأسباب، لن يكون ممكناً - من الناحيتين الأخلاقية والعملية - تطبيق هذه التقنية على بني البشر في الأعوام الخمسة المقبلة. وستصدر دول عدة قوانين تحظر هذه التقنية. وبرغم ذلك من المتوقع أن يقدم بعض العلماء المجردين من الأخلاق على إجراء أول عملية استنساخ على بني البشر.

الطب

قد يبدأ في فترة الأعوام الخمسة المقبلة عهدُ "الطب الجزيئي". وبدلاً من الاعتماد على مبدأ التجربة والخطأ الذي سادَ في الطب طوال أربعة آلاف عام منصرمة، سنفهم شيئاً فشيئاً الطبيعة الجزيئية والجينية للأمراض ووظائف الجسم.

غير أن وضع تسلسل جينات الحيوانات والتسلسل الخاص بالأمراض لا يعني وحده وبحدٍّ ذاته أننا سنفهم وظائف هذه الجينات. وعلى مدى العقود المقبلة ستفوق قدرتنا على وضع تسلسل جينات الحيوانات وجينات الأمراض قدرتنا على فهم طريقة عمل الجينات. ويشبه جينوم الكائنات الحية مُعجماً ضخماً يضم مئات الآلاف من المفردات المكتوبة بشكل صحيح ولكنها غير معرَّفة. وخلوّ هذا المعجم من التعريفات يجعله معجماً غير مفيدٍ. ومن المتوقع أن يتوصل العلماء في الأعوام الخمسة المقبلة إلى الجينوم المتكامل لأهم الأمراض التي أصابت البشرية غير أنهم لن يتمكنوا من ترجمة هذه المعلومات إلى علاجات فعلية.

وعلى سبيل المثال تُعدُّ الملاريا أهم أخطر الأمراض القاتلة التي عرفتها البشرية؛ إذ تؤدي إلى وفاة ما يقارب ما بين مليون طفل ومليونين سنوياً وتصيب مئات الملايين من البشر. وفي عام 2002 اشترك نحو مائة وخمسين عالماً في وضع تسلسل ميكروب الملاريا (الذي يضم نحو 5300 جينة)، والبعوضة التي تنقله (وهي تضم نحو 14000 جينة).[7] غير أن أعواماً طويلةً قد تمضي قبل أن نتمكن من تفسير هذه الثروة من المعلومات الجينية وعزل نقاط الضعف في الملاريا والتوصل إلى علاجات لها.

وقد يتمكن العلماء والأطباء من تحقيق اختراقات علمية ضد أمراض قاتلة من الأيدز والسرطان، غير أن التوصل إلى علاجات لها سيكون بطيئاً. ويضم فيروس الأيدز تسع جينات وقد تم بالفعل وضع تسلسلها بعناية فائقة، بل تم تفسير شجرة العائلة الجينية الخاصة بفيروس الأيدز، وهذا حدا بالعلماء إلى الاعتقاد أن الوباء مردّه إلى فيروس عابر من قردة أفريقيا، وقد جاء في الأصل من فيروس السيدس (SIDS) قبل نحو خمسين عاماً. غير أن الفيروس يتحوّل بسرعةٍ فائقةٍ، ومن غير المرجَّح التوصل إلى علاج قصير الأمد له. ويُعدُّ فيروس الأيدز - بسبب غياب آلية تصحيحية جينية فعالة - هدفاً متحركاً قابلاً للتحول بسرعةٍ فائقةٍ فيُحيِّد هذا فاعلية أي معالجة متطوّرة لمعالجته، وقد تظل الحال كذلك على مدى أعوام أو عقود قادمة.

إن السرطان - بالمثل - سيبقى عصياً أعواماً قادمة. وتنطوي بعض السرطانات على تحولات متلاحقة في أربع جينات أو أكثر، علماً بأن هناك عدداً كبيراً من المورثات الورمية ومثبطات الأورام. ويسعى العلماء للتوصل إلى طرائق جديدة لمهاجمة السرطان على

المستوى الجزيئي، بما في ذلك منع وصول الدم إلى الأورام السرطانية باستخدام المضادات الحيوية الوحيدة النسيلة (الأحادية المصدر) والمعالجة الجينية. وينطوي نحو 50٪ من السرطانات المعروفة (الرئة والثدي والقولون) على تحولات في جينة واحدة هي p-53. وهذا يعني أنه قد يكون في وسعنا أن نعالج نحو 50٪ من السرطانات المعروفة من خلال استبدال الجينة p-53 المصابة. غير أن الواقع ليس بهذه البساطة. فقد أجرينا بالفعل تجارب عدة على المعالجة الجينية مبنيةً على تقويم الجينة p-53 المتحولة، غير أن النتائج غير حاسمة؛ إذ تظهر النتائج أن الخلايا السرطانية تمتص الجينة p-53 السليمة، ولكن ذلك ليس كافياً وحده. فما يسعى له العلماء هو التأكد من أن الخلايا السرطانية كافة تُعالج بهذه الطريقة، وهذا ما لم يتحقق حتى الآن.

ومن المتوقع في الأعوام الخمسة المقبلة أن نشهد إنجازات باهرة في مجال فهمنا للطبيعة الجينية للأمراض، وإن كان التوصل إلى علاجات ناجعةٍ لها لن يكون سريعاً.

الجدل الاجتماعي

سيدور الجدل الاجتماعي على ما يتعلق بالتقنية الحيوية في الأعوام الخمسة المقبلة حول قضايا الخصوصية وسلامة الأغذية والخلية الجذعية.

وستكون قضية الخصوصية ذات أهمية - في المدى القصير - بالنسبة إلى شركات التأمين؛ حيث إن أقساط التأمين تزداد إذا ما عرفت شركة التأمين أن عميلاً محتملاً يعاني علةً جينيةً؛ لذا ستصدر بعض الحكومات قوانين تمنع شركات التأمين وأرباب العمل من التمييز ضد العملاء أو الموظفين المحتملين.

كما أن الجدل حول الأطعمة المعدّلة وراثياً سيحول دون بيعها كسلعةٍ تجاريةٍ في أوربا، وإن كان الوضع مختلفاً في الولايات المتحدة الأمريكية ودول العالم الأخرى. ومن المرجّح أن يتجنب الأوربيون الأطعمة المعدّلة وراثياً خلال هذا الجيل. وستعاني صناعة الأغذية المعدلة وراثياً رفضاً إلى أن تقنع الأوربيين بأن الأغذية المعدلة وراثياً سليمة.

ولعل الأغذية المعدلة وراثياً مثال معروف على الأخطاء الجسيمة التي ارتكبتها صناعة التقنية الحيوية والتي أضاعت منها سوقاً تقدر قيمتها بمليار دولار أمريكي؛ إذ طُرحت

الأغذية المعدلة وراثياً على عجل من دون ضوابط صارمة كان يمكنها أن تزيل مخاوف العامة. ولم تكن تجربة العامة الأولى مع الأغذية المعدلة وراثياً والمسوقة على نطاق واسع تجربةً موفقةً؛ حيث كان الهدف المنشود منها حينئذٍ تحقيق عائدات ضخمة في المدى القصير. وعلى سبيل المثال باعت شركة مونسانتو (Monsanto) للمزارعين بذوراً مقاومةً للمبيدات الحشرية؛ فجعل هذا المزارعين يقبلون أيضاً على شراء المبيدات الحشرية من الشركة نفسها. وقد حققت الشركة أرباحاً من وراء ذلك لأنها باعت البذور المقاومة للمبيدات الحشرية والمبيدات الحشرية ذاتها للمزارعين، وإن كان ذلك على حساب المستهلك الذي أضحى يشتري أغذيةً مليئةً بالسموم (ماذا لو حاول توماس أديسون في مطلع القرن أن يسوق الكهرباء ويروج لها من خلال عرض الكرسي الكهربائي وليس المصباح الكهربائي). وهكذا تراجعت ثقة العامة بالأغذية المعدلة وراثياً بسبب عدم إحساسهم بأي فائدة منها أولاً، وانزعاجهم من زيادة المبيدات الحشرية في أطعمتهم ثانياً، وخوفهم من غياب الضوابط الصارمة التي تحكمها ثالثاً.

وهذا يثير قضيةً حساسةً أخرى وهي ملصقات الأطعمة، إذ أظهرت استطلاعات الرأي أن المستهلكين، إذا ما خُيِّروا، فسيرفضون الأطعمة المعدلة وراثياً إذا ما أظهرت ملصقاتها ذلك. وملصقات الأطعمة ذات أهمية خاصة بالنسبة إلى محاربة مشكلة الحساسية إزاء بعض الأطعمة. فالأشخاص الذين يعانون حساسيةً من المكسرات قد يصابون بآثار عكسية إذا ما تناولوا منتجات زراعية مُطعَّمة بجينة المكسرات. وقد يخاطر الإنسان المصاب بحساسيةٍ من بعض الأطعمة بحياته إذا ما تناول أطعمةً لا تحمل ملصقات تبين محتوياتها.

كما سيثار جدل حول قضية الخلية الجذعية الجنينية، وهي قضية خلافية، لأنها تنطوي على التخلص من الأجنة البشرية. فعلى حين تقبع آلاف الأجنة المجمّدة في حاويات نيتروجينية سائلة في عيادات الإخصاب تنتظر اللحظة التي ستُرمى بها في حاويات القمامة، ينادي زعماء دينيون، وخاصةً في الولايات المتحدة الأمريكية وبعض الدول ذات النزعة الكاثوليكية القوية أو الدول التي تعارض الإجهاض، بوقف أبحاث الخلية الجذعية، فهناك على سبيل المثال قيود في الولايات المتحدة الأمريكية تحصر التمويل الفيدرالي في 78 خط خلية جذعية فقط. وسيبدو هذا العدد ضئيلاً جداً عند مقارنته بخطوط الخلية

الجذعية الآخذة في الانتشار في المختبرات حول العالم. وفي نهاية المطاف قد يُضطر العلماء الأكثر نشاطاً في هذا المجال إلى مغادرة الدول التي ترفض تمويل هذه التقنية إلى دول أخرى تثمّن هذه التقنية ولا تعدها عبئاً عليها.

وهناك بعض المشكلات القانونية المرتبطة بالجينات. فمن الذي يملك هذه الجينات؟ أيملكها الرجال الذين تبرعوا بمنيِّهم أم يملكها العلماء الذين حللوا الجينات؟ وقد أثارت هذه القضية مشكلاتٍ فعلية الآن، خاصة عندما يكتشف العلماء أن بعض الجينات المأخوذة من أفراد معينين لها قيمة تجارية كبيرة. وفي المحصلة يتعين على المحاكم أن تقرِّر مدى ملكية الإنسان لجيناته.

وأخيراً، تسعى الشركات العملاقة الآن لحيازة حقوق ملكية الجينات الرئيسية التي تدخل في صناعة العقاقير الدوائية المهمة والأغذية، وهذا قد يثير القلق من احتكار شركات معدودة أو أفراد معدودين مثل هذه القوة الكبيرة. وقد يعاني العامة إذا ما حازت شركات معينة لا تهمها إلا مصالحها حقوق ملكية بعض الجينات ذات الأهمية البالغة.

التطورات المتوقعة في غضون الأعوام العشرة المقبلة

سيضع العلماء في غضون الأعوام العشرة المقبلة موسوعة كبيرة تضم التركيبة الجينومية الخاصة بمئات، إن لم يكن آلاف، الأمراض والنباتات والحيوانات. وسيبذل العلماء جهوداً دؤوبةً لمعرفة وظائف الجينات، على الأرجح من خلال الاستعانة بالحواسيب. ومادام إجراء التجارب الجينية على البشر أمراً غير أخلاقي، فإن أفضل السبل وأقصرها لفهم وظائف الجينات دراسة ما يُعرف باسم المعلوماتية الحيوية، أي استخدام الحواسيب للبحث عن متماثلات الجينات البشرية في عالمي الحيوان والنبات. ومادام الإنسان يشترك مع الفطريات في نحو 30٪ من جيناته، ومع الحيوانات الداجنة بما بين 70٪ و90٪ منها ، ومع الشمبانزي في نحو 98.4٪ منها، فإن العلماء سيسعون لتحديد وظائف الجينات المختلفة في الحيوانات والنباتات أولاً، ومن ثم التعرف على متماثلاتها ضمن الجينوم البشري. وستتمكن يوماً بعد آخر من تعبئة المدخلات الناقصة في "موسوعة الحياة"، جينةً بجينة، لنخزنها في نهاية المطاف في ذاكرة الحاسوب.

الخلايا الجذعية

ستتيح دراسات الخلية الجذعية للعلماء في غضون العقد المقبل أن يشكّلوا أعضاء رئيسية من جسم الإنسان أو يزرعوها بكل ثقة. وقد يتمكن العلماء في غضون هذه الفترة من زراعة أعضاء بسيطة مثل القلب والمعدة والعضلات في المختبر (قد تستغرق زراعة أعضاء أكثر تعقيداً مثل الكلية والرئة وقتاً أطول). وسيكون لذلك مضامين عميقة لملايين البشر ممن ينتظرون زراعة عضو لهم. وقد تظهر في نهاية المطاف صناعة طبية تلبي الطلبات المتزايدة للمتقدمين في السن. وعلى سبيل المثال، قد تصبح زراعة الغضروف، التي تمت ورأيناها بالفعل في المختبر، أمراً شائعاً خلال العقد المقبل، وهذا سيحدث ثورةً في طريقة معالجة التهاب المفاصل، وهذا بدوره سيكون له الأثر العظيم على سكان أوربا الذين يصنف معظمهم ضمن فئة الشيخوخة. وقد توصل العلماء في معهد ماساشوستس للتكنولوجيا إلى تصميم "مادة هلامية بحسب الطلب" وهي تتألف من خلايا غضروفية وسقالة مصنوعة من الهلام المائي، ويمكن زراعتها خارج جسم الإنسان، ومن ثم يتم حقنها مباشرةً في المفاصل الملتهبة لتوليد مادة غضروفية جديدة داخلها. وتتصف المادة الغضروفية الجديدة بصفات حركية مشابهة للمادة الغضروفية الأصلية.[8]

ومن الأعضاء التي سيكون من الصعب جداً زراعتها الدماغ البشري بسبب تركيبته البالغة التعقيد واستحالة ربطه بمئات الملايين من الخلايا العصبية في العمود الفقري. ولكن، قد يكون من الممكن حقن خلايا جذعية دماغية مباشرةً في الدماغ أو العمود الفقري. وهذا سيتيح التوصل إلى سبل جديدة لمعالجة ألزهايمر والشلل الرعاشي وإصابات العمود الفقري. وربما لا يُشفى المرء تلقائياً، ولكن يتعين عليه أن يتعلّم بدأب أنشطةً جديدةً لدمج الأنسجة العصبية الجديدة في الدماغ. وتبدو نتائج التجارب التي أجريت على أدمغة الحيوانات مشجعةً إلى حدٍّ ما؛ حيث تنمو خلايا دماغية جديدة في أدمغة الفئران المعالجة بالخلايا الجذعية، وقد تمر أعوام وأعوام قبل أن نطبق هذه التقنية بإتقان على دماغ الإنسان.

المعالجة الجينية

قد يصل عدد الأمراض الجينية التي يُمكن معالجتها بالمعالجة الجينية إلى خمسين مرضاً أو ربما مائة مرض. وستشكل المعالجة الجينية، في واقع الأمر، ترسانةً مهمةً في محاربتنا

للأمراض. غير أن المعالجة الجينية ستنحصر في الأمراض التي تسببها جينة واحدة ولن تشمل الأمراض التي تُردّ إلى جينات متعددة. وستظل هذه التقنية على مدى الأعوام المقبلة مقصورة على الأمراض الجينية التي يمكن تتبعها إلى جينة متحولة واحدة. وبسبب الصعوبات البالغة التي تعترض عزل الأمراض التي تُردّ إلى أسباب جينيةٍ وتفاعلية مع البيئة، فإن الأمراض التي تسببها أكثر من جينة (مثل الأمراض العقلية مثلاً) ستستغرق عقوداً لعزلها ومعالجتها.

وقد ظهرت ادعاءات كاذبة طوال أعوام حول عزل الجينة المتسببة في فُصام الشخصية؛ ذلك المرض الذي تسببه عوامل محيطة بالمريض علاوةً على جينات عدة. وقد ثبت أن عملية وضع شجرة عائلة الأشخاص الذين يعانون مرضاً جينياً معيناً لعزل جينة واحدة تحتاج إلى جهودٍ حثيثةٍ ودؤوبةٍ، وهي عملية مكلفة في الوقت ذاته. وقد يفوق ذلك رصد الجينات الكثيرة التي تسبب فُصام الشخصية صعوبةً.

وسيكون من الممكن في غضون العقد المقبل معالجة مجموعة متزايدة من السرطانات. ومن المرجَّح أن تُعتمد طرائق متعددة لمعالجة مجموعة من السرطانات على المستويين الجزيئي والجيني معاً. وقد ثبت أن حقن النسخة الصحيحة من p-53 في الأورام السرطانية قد يوقف مؤقتاً نمو الأورام. (غير أننا إذا تخطينا خليةً سرطانيةً واحدةً في المعالجة الجينية فإنها ستكون قادرة على إعادة توليد الورم كله). وستثمر في العقد المقبل بعض الطرائق التجريبية التي نعرفها الآن لمعالجة السرطانات (مثل: منع وصول الدّم، حقن p-53، والمضادات الحيوية الأحادية المصدر).

الزراعة

خلافاً لادعاءات الكثير من المتخصصين فإنه من غير المرجح أن تنجح ثورة التقنية الحيوية في إطعام الأفواه الجائعة في أرجاء العالم. إذ يزداد عدد سكان العالم بسرعةٍ رهيبةٍ بينما تظل إنجازات التقنية الحيوية متواضعةً. غير أن العلماء سينجحون في تطوير سلالات جديدة متوافقة مع البيئات القاسية في العالم الثالث، وهذا سيحدّ من المجاعة، ولكنه لن يقضي عليها. وسينجح العلماء في وضع التسلسل الجينومي لآلاف الحيوانات والنباتات والأمراض، وهذا سيغير وحده طرائق الزراعة ومحاربة الأمراض.

وقد تزداد أهمية الحيوانات والنباتات التجارية، ولاسيما في ضوء قدرتها على صناعة بروتينات بشرية نادرة. وعند حقن هذه البروتينات مع جينات معينة فإنها قد تنتج كميات كبيرة من المواد الكيميائية المهمة لحياة الإنسان، وهذا يقلِّل تكلفة تصنيعها. ففي عام 2002 - على سبيل المثال - أصدرت وزارة الزراعة الأمريكية 32 تصريحاً ميدانياً لزراعة أنواع جديدة من العقاقير في محاصيل مثل الشعير والأرز والتبغ والذرة. ويأمل العلماء أن يتمكنوا من زراعة عددٍ كبيرٍ من العقاقير، ومنها الأنسولين المستمد من النباتات، علاوةً على لقاحاتٍ ضد التهاب الكبد ب والكوليرا والإسهال والقُوباء.

وقد تستخدم الحيوانات للغاية ذاتها. فقد نجح العلماء في جامعة ميلان في مزج منيٍّ الخنزير مع دنا الإنسان لتحويل جينة تُسمى DAF. وقد أنجبت الخنازير المخصبة بالمنيِّ المعالج خنازير تحمل جينات بشرية. والغاية من هذه التقنية تخليق أعضاء يمكن زراعتها في جسم الإنسان من دون أن يرفضها، وهو ما يحدث عند زراعة أعضاء من حيوانات في حالتها الطبيعية.

الاستنساخ

يمكننا في غضون العقد المقبل، ويوماً بعد آخر، أن نتغلب على الكثير من المشكلات التقنية الحالية التي تعترض طريق استنساخ الثدييات. ولن يقتصر اهتمامها في هذه المرحلة على استنساخ الحيوانات فحسب، بل سيمتد إلى تخليق "حيوانات بحسب الطلب" ذات سمات جينية فائقة. ولن يعتمد مربو الحيوانات على حيوانات الاستيلاد أو الحيوانات ذات الصفات الفائقة فحسب، بل سيتمكن العلماء من عزل الجينات التي تحمل الصفات الفائقة والاستفادة منها في تربية الحيوانات. وسيصبح من الشائع أن نرى حيوانات تنتج حليباً أو لحماً أكثر، أو نباتاتٍ تنتج حبوباً أكثر في بيئات قاسية. وقد يعزِّز ذلك إنتاجية المزارع من دون الحاجة إلى المضادات الحيوية التي تزيد الأمراض المقاومة للعقاقير الدوائية.

الطب

برغم أن العلماء يعرفون الآن التركيبة الجينومية لعدد من الأمراض الشائعة، فإنهم سيتمكنون في غضون العقد المقبل من الاستفادة من هذه المعرفة في معالجة الكثير من الأمراض. وقد يكون لذلك مضامين عميقة بالنسبة إلى دول العالم الثالث التي تعاني

أمراضاً مثل الملاريا والكوليرا وبعض الأمراض الطُفيلية. ويمكننا من خلال معرفتنا بالتركيبة الجينومية أن ندرس الميكروبات دراسةً مفصلةً، ونفهم دفاعاتها، ونرصد نقاط ضعفها، وأن نتوصل أخيراً إلى سبل محاربتها على المستويين الجزيئي والجيني.

وبالمثل، فإن الطفيليات من أهم العوامل التي تحول دون نمو سكان بعض دول العالم الثالث؛ إذ إنها تؤثر تأثيراً سلبياً في صحتهم وقوتهم وعافيتهم. ومن المتوقع أن يتمكن العلماء في غضون العقد المقبل من وضع التركيبة الجينومية الكاملة للأمراض الطفيلية الرئيسية، وهذا سيمهد الطريق أمام فهم دورة الحياة فيها ومن ثم القضاء عليها على المستويين الجزيئي والجيني.

ومن الإنجازات المهمة الاستغناء عن الجراحة يوماً بعد آخر؛ إذ تنطوي الجراحة على إحداث شق في جلد الإنسان وبعض أعضائه وتعرض جسم الإنسان إلى مليارات الجراثيم المُمرضة. وتستلزم الجراحة أيضاً أسابيع طويلة من النقاهة، ويبقى الجسم خلالها عرضةً لأمراض أخرى مثل ذات الرئة. وأحياناً ما تكون الآثار الجانبية للجراحة أكثر سوءاً من المرض الذي استلزم الجراحة في الأصل.

وقد تحلّ التقنيات البالغة الدقة التي لا تستلزم إحداث شق في جسم الإنسان محل الجراحة التقليدية. ولن يتمكن الأطباء من إدخال أسلاك دقيقة من الألياف البصرية في جسم الإنسان فحسب، بل سيعمدون إلى حقن حواسيب دقيقة كاملة في جسم الإنسان لمراقبة الجهاز الهضمي، وربما أجزاء من الدورة الدموية. وتبدو الآلات الكهربائية الدقيقة دقيقة جداً بل أصغر حجماً من رأس الإبرة، وهي تستخدم تقنية الحفر ما فوق البنفسجية المستخدمة في صناعة الرقائق الدقيقة في صناعة الحاسوب. ومن المؤمل في نهاية المطاف أن توضع هذه الآلات وأجهزة الرصد البالغة الدقة في حجمها في جسم الإنسان للقيام بمهام تشخيصية وجراحية.

كما ستتحقق إنجازات في مجالات تصوير جسم الإنسان؛ إذ أعطتنا طرائق مثل تصوير الرنين المغناطيسي والتصوير الإشعاعي المقطعي بمساعدة الحاسوب صوراً ثلاثية الأبعاد لجسم الإنسان، بل صوراً للدماغ في أثناء تفكير الإنسان. وستحدث تطورات تقنية في هذا

المجال ثورةً في عالم الطب. فقد نتمكن – على سبيل المثال – من النفاذ إلى شرايين القلب وهو يضخ الدم، ونراقب كلّ حركاته وسكناته، في كل جزء من الثانية، ومن ثم نقرر مدى انسدادها ومرضها. وهذا سيعزّز إلى حدٍّ بعيدٍ قدرتنا على مراقبة أمراض القلب التي تسبب أكبر عدد من الوفيات في الغرب. (في الوقت الحاضر تُعد معرفتنا بالقلب وطريقة عمله محدودةً جداً، إلى حدّ أن مريضاً ما قد يجتاز كل الاختبارات المعروفة اليوم، ولكنه يتوفى عند مغادرته عيادة الطبيب بسبب سكتةٍ قلبيةٍ).

كما ستشهد الأدوية تغيرات جذريةً في العقد المقبل. فمعظم العقاقير التي نعرفها اليوم لها آثار جانبية متفاوتة. فالدواء الواحد الذي يوصف لأشخاص مختلفين يسبب أعراضاً جانبيةً لعدم مراعاة حقيقة أننا نختلف على المستوى الجيني. ويمكن أن تكون بعض هذه الأعراض الجانبية قاتلةً، وهو ما يستوجب رفع قضايا بملايين الدولارات ضد الشركات المنتجة أحياناً، وقد يحول ذلك دون دخول دواء واعد ما إلى الأسواق بسبب آثاره السلبية على عددٍ محدودٍ من المرضى. أما في المستقبل فإننا سنتمكن من وضع تسلسل الدنا لكل واحدٍ منا، وهذا قد يمكننا من تركيب أدوية ليس لها أي أعراض جانبية.

وسيكون الطب الوقائي قضيةً مهيمنةً في هذا المجال؛ حيث إن صحتنا سترصدها بصمتٍ "الحمامات الذكية" و"الملابس الذكية" التي تحمي صحتنا وترصد دقات قلبنا، وضغط دمنا، وسوائل جسمنا، فيعطينا هذا قراءةً دقيقةً ومتواصلةً لصحتنا. وقد تتمكن هذه الحمامات الذكية من رصد أيّ آثار لبروتينات تطلقها الخلايا السرطانية وهي تتشكل من خلايا معدودة، أي قبل أعوام من تشكل الورم السرطاني (الذي يتألف من مليارات الخلايا). فقد أعلن العلماء في جامعة كامبردج – على سبيل المثال – عام 2002 أنهم تمكنوا من تطوير تقنيات قادرة بسرعة على رصد وجود الجزيئات المسماة (MCM) التي تطلقها الخلايا السرطانية دون الخلايا الطبيعية. وقد تحدث هذه الاختبارات الجزيئية البسيطة ثورةً في الكشف عن سرطان الأمعاء، وسرطان عُنق الرحم، وغيرهما من السرطانات المعروفة؛ فيتيح ذلك للمريض أن يعرف أن الخلايا السرطانية بدأت تتشكل في جسمه قبل أن تتشكل الأورام السرطانية نفسها. وقد يصبح البحث عن الأورام بالطريقة التقليدية شيئاً من الماضي.

الجدل الاجتماعي

من المتوقع – في غضون العقد المقبل – أن تصبح الاختبارات الجينية (لرصد مئات الجينات الرئيسية) أمراً شائعاً إلى حدٍّ ما، وليس لأغراض جنائية فحسب، بل على مستوى العامة أيضاً. وقد استغرق مشروع الجينوم البشري في الأصل خمسة عشر عاماً وكلف ما يربو على خمسة مليارات دولار أمريكي. ويقدّر كريج فينتر وهو أحد رواد المشروع أن تكلفة وضع تسلسل جينوم شخص ما تبلغ نحو 500,000 دولار أمريكي اليوم، وهو يأمل أن تنخفض هذه التكلفة إلى نحو 1000دولار أمريكي.

وإذا كان في وسع الأثرياء اليوم أن يحصلوا على التسلسل الكامل لـ 30,000 جينة وحفظها على قرص مُدمج، فإن بوسع الإنسان المتوسط أن يتحمل تكلفة وضع التسلسل الخاص بمئات الجينات الرئيسية. وقد تمكنا بفضل "رقاقة سيليكون الدنا" التي صنعتها مؤسسة أفيميتركس (Affeymetrix) من أن نشخص بعض الأمراض الجينية تشخيصاً سريعاً؛ من خلال تحليل الجينوم ووضع تفاصيله على رقائق من السيليكون. بل طور العلماء أيضاً اختباراً بسيطاً للتنفس، يُطلب فيه إلى الشخص أن يتنفس على لوحة زجاجية، ومن ثم تؤخذ اللوحة إلى المختبر، وهناك يمكن رصد أي نسخة متحولة من p–53؛ ومن ثم يتقرر احتمال أنه يعاني سرطان الرئة.[9]

وقد تسبب التكلفة المنخفضة لتسلسل الجينات مشكلةً اجتماعيةً رئيسيةً، ليس مع "الأخ الأكبر" بل مع "الأخ الأصغر"؛ إذ ستسعى الصحف الفضائحية للحصول على جينوم نجوم السينما، كما سيسعى الجيران المتطفلون للحصول على جينوم أصدقائهم وخصومهم، كما سيسعى الآباء للحصول على جينوم الأقران المحتملين لأبنائهم. ويتعين على الناس حينئذٍ أن يحرصوا على حماية جلودهم وشعرهم ودمهم لئلا يقع أي شيء منها في يد أشخاص لا يثقون بهم. ويمكن أن يكون لذلك تأثير في السياسة أيضاً؛ إذ سيسعى المرشحون المتنافسون إلى الحصول على جينوم خصومهم وتحليله لمعرفة احتمال كونهم مصابين بأمراض خفية أو لا. وعلى سبيل المثال، لو عُرِفَت التركيبة الجينية للرئيس الأمريكي الأسبق جون كينيدي مسبقاً لما كان ترشح للانتخابات الرئاسية في الولايات المتحدة الأمريكية لأنه كان يعاني مشكلات غير معلنة في الكليتين.

وسيكتشف العامة القدرات الشفائية الكامنة في التقنية الحيوية، بينما سيدور الجدل الاجتماعي حول تكلفة المعالجات التي يمكن أن تنقذ حياة الإنسان أو أن الأثرياء وحدهم هم القادرون على الاستفادة منها. وستكون تكلفة هذه المعالجات التي قد تنقذ حياة الإنسان باهظةً، وكذلك ستكون تكلفة العقاقير الدوائية المصنعة بفضل هذه التقنية. وسيتمكن الأثرياء نسبياً من الاستفادة من المعالجات القائمة على استبدال بعض الأعضاء المكلفة. وإذا ما أخذنا التكلفة الباهظة لإنتاج أعضاء كاملة في الحسبان، فإن شركات التقنية الحيوية ستنقل هذه التكلفة إلى المستهلك، فيجعل هذا بعض الأعضاء مكلفةً إلى حدٍّ بعيدٍ.

وقد نشهد في العقد المقبل أول كارثة بيئية بسبب الكائنات المعدلة وراثياً. إن هناك - على سبيل المثال - عدداً كبيراً من النباتات المعدلة وراثياً لتنتج عقاقير أو سلالات جديدة، ويبدو أنه لا مفر يوماً ما من فرار بعض الكائنات المعدلة وراثياً إلى البيئة. وفي الولايات المتحدة الأمريكية هناك قوانين صارمة بشأن قطع الأراضي المخصصة للأغذية المعدلة وراثياً؛ حيث تنص على أن تبعد هذه القطع ربع ميل على أقل تقدير عن المحاصيل الأخرى. غير أننا لا نستبعد احتمال انتقال اللقاحات من قطعة أرض إلى أخرى. وقد تتصرف الكائنات الحية المعدلة وراثياً بطريقةٍ غير متوقعة، كأن تحل محل الأجناس الأصلية، أو أن تلوث المحاصيل الغذائية الأخرى، فيستوجب ذلك استرجاع المحاصيل المعروضة للبيع. وعلى سبيل المثال طورت شركة أكوا باونتي فارمز (Aqua Bounty Farms) سلالةً من السلمون تنمو بسرعةٍ تصل إلى عشرة أضعاف سرعة نمو السلمون في الطبيعة. وقد أخذت الشركة جينات النمو من أحد أنواع الأسماك وحقنتها في سمك السلمون الأطلسي. وبرغم أن هذه السلالة من السلمون قد تخفف مشكلة الغذاء في أرجاء معينة من العالم، فإننا قد نشهد تبعات غير متوقعة إذا ما فرّ السلمون المعدّل وراثياً إلى البيئة البحرية، فقد يحلّ محل السلمون الأصلي.[10] ومادام استرجاع الكائنات المعدلة وراثياً غير ممكن، كما اعتدنا على استرجاع السيارات التي نكتشف فيها عيباً ما مثلاً، فإن هذه الكائنات ستترك آثاراً في البيئة لا يمكن تقويمها. وسنرى كيف تتعامل صناعة التقنية الحيوية مع كارثة بهذا الحجم لنتأكد من نضجها.

وأخيراً، فإن التقدم في كشف النقاب عن السلوك وتأثير الجينات فيه قد يثير جدلاً فيما يتعلق بالنظم الجنائية والأديان معاً؛ إذ تشير الدراسات التي أجريت على توائم متماثلة تم فصلها عند الولادة أن سلوك الإنسان مبرمج جينياً بنسبة 50٪، بينما تحدّد البيئة طبيعة نسبة 50٪ المتبقية. غير أننا مازلنا نجهل إلى حد بعيد الجينات المسؤولة عن سلوك الإنسان. وقد يتمكن العلماء في غضون العقد المقبل من عزل بعض الجينات التي تعمل معاً وتتحكم في سلوك الإنسان. وقد يقول المتهم بجريمة ما: إنه بريء وذلك انطلاقاً من حقيقة أن الجينات هي المسؤولة عما ارتكبه، وهي التي جعلت سلوكه عنيفاً. وقد يتوصل العلماء في المستقبل أيضاً إلى "جينات الشواذ" التي تجعل الإنسان أكثر عرضةً أو ميلاً لأن يكون مثلياً أو مشتهياً لأبناء جنسه. وقد يدعي بعض المثليين أو الشاذين جنسياً أن جيناتهم هي التي قررت، إلى حدٍّ ما، ميولهم الجنسية، ومن غير المفيد، بل من المهين لهم، أن نحاول أن نعظهم أو نثنيهم. وقد ترى بعض الجماعات الدينية المتشددة ضرورة القضاء على مثل هذه الجينات بالمعالجة الجينية. وكلما عزلنا المزيد من الجينات المرتبطة بالسلوكيات الإنسانية تصاعد عدد القضايا الاجتماعية الخلافية بسرعة.

التطورات المتوقعة في غضون عشرين عاماً

من المتوقع خلال السنوات العشرين القادمة، وفقاً لقانون مور، أن تهبط أسعار رقائق الحاسوب ليصل ثمنها إلى دراهم معدودة أو لا يتجاوز سعرها سعر قصاصة ورق. وسيكون في وسع المستهلك أن يشتري حاسوباً فائقاً بقوة تفوق القوة الحالية بألف مرة وبالتكلفة نفسها. وفي حقيقة الأمر ستصبح الحواسيب فعلياً منتشرة في كل مكان بتكلفة لا تكاد تذكر، وسيكون لذلك انعكاسات عميقة على الصحة العامة بما أن الحاسوب يُعد من القوى الرئيسية المحركة للتقنية الحيوية.

الخلايا الجذعية

في غضون عشرين عاماً قد يكون "متجر قطع الغيار البشرية" أمراً منتشراً. وفي هذا السياق يتنبأ والتر جيلبريت (Walter Gilbert) الحائز على جائزة نوبل أنه سيكون من الممكن في غضون عشرين عاماً زراعة كل عضو من أعضاء الجسم في المختبر.[11] وفي حال إصابة عضو ما بداء ما أو في حال هرمه أو إصابته سيكون متاحاً أمامنا أن نستعين بالخلايا

الجذعية لإعادة توليد أعضاء جديدة (بطريقة مماثلة لما نراه عند بعض الزواحف حيث تمكنها الخلايا الجذعية من أن تستبدل عضواً أو ذيلاً مفقوداً). وبما أن سكان الدول الغربية سيهرمون فإن ذلك سيكون ذا مغزى مهم لأولئك الذين يعانون أمراض القلب أو مرضى السكري أو ألزهايمر أو الشلل الرعاشي.

المعالجة الجينية

من المتوقع أن توفق المعالجة الجينية في معالجة مئات الأمراض الجينية (نعرف منها الآن نحو 5000 مرض) خلال الأعوام العشرين القادمة. وقد يكون الحدث المهم القادم في تاريخ علم الجينات هو تصنيف الأمراض التي تسببها جينات متعددة والتي تمثل في الوقت الحاضر تحدياً يفوق غيرها من الأمراض الجينية. وتشمل هذه الفئة الأمراض العقلية التي تصيب ما نسبته 1٪ من الجنس البشري (كالفُصام والأمراض الثنائية القطبية) علاوةً على أمراض المناعة الذاتية (مثل التهاب المفاصل والذأب)، وكذلك الأمراض المرتبطة بكبر السن (مثل أمراض القلب). ومن المتوقع أن يتم في غضون الأعوام العشرين القادمة التعرف على التجمعات الجينية التي تسبب الداءات المتعددة الجينات. غير أن إيجاد علاجات لهذه الأمراض قد يكون أمراً محيراً مادام تفاعل هذه الجينات مع بعضها بعضاً، وكيف أنها تتأثر بالبيئة سيتعين على العلماء أن يفسروه.

ومن الممكن أن نرى في غضون الأعوام العشرين القادمة أول "طفل بحسب الطلب"؛ بحيث يتمكن الآباء من اختيار مجموعة من الصفات والسمات التي يودون أن يروها في أبنائهم (بما في ذلك حجم الجسم، وشكله، بل بعض الصفات العقلية مثل الاستحياء والمغامرة وغيرهما). وقد يتم إقرار بعض القوانين للحد من هذه التقنية، ولكن لن يكون من اليسير أن نمنع المختبرات غير المرخصة من تقديم مثل هذه الخدمة إلى الآباء الساعين لها.

الشيخوخة

في غضون الأعوام العشرين القادمة سيتمكن العلماء من تحديد الجينات المسؤولة عن الشيخوخة؛ وهذا سيحدو بالعلماء إلى إجراء أول تجربة للتدخل جينياً من أجل إطالة عمر الإنسان. وبما أننا سنفهم التركيبة الجينومية للملايين من بني البشر فإننا سنستعين

بالحواسيب لإجراء دراسة مسحية لجينات الأطفال والشبان والبالغين وكبار السن؛ بهدف رصد الجينات الطَفْرية أو التحولية بسبب الشيخوخة. وسيكون من الممكن من خلال الدراسة الحاسوبية المفصلة أن نعزل الجينات المرتبطة بالشيخوخة.

وهذا سيقودنا حتماً إلى اكتشاف معالجات من شأنها أن تبطئ عملية الشيخوخة وذلك من خلال بعض العقاقير القادرة على أن تبطئ تراكم الأخطاء الأيضية في جينوم الخلايا؛ فيعزز هذا قدرة جسم الإنسان على تقويم الأضرار الجينية، وربما من خلال الاستعانة بالمعالجة الجينية من أجل "تصفير" الساعة البيولوجية لبعض الخلايا وتبطيء عملية الأكسدة داخل الخلايا.

الاستنساخ

من المتوقع في غضون الأعوام العشرين القادمة أن يصبح الاستنساخ في مجال تربية الحيوانات أمراً شائعاً، بل من المتوقع - أيضاً - أن نتمكن من تقويم الكثير من العيوب الفنية المرتبطة بذلك. وقد تنبأ بعض الدارسين بأن تبلغ هذه التقنية مرحلةً متطورةً بحيث نرى حيوانات خرافية تشبه إلى حدٍّ بعيدٍ ما سمعنا عنه في الأساطير اليونانية، أي أن نرى حيواناً نصفه حيوان والنصف الآخر إنسان. ولكن ذلك في حقيقة الأمر من غير المرجح في غضون الأعوام العشرين القادمة. إن من الممكن أن تتطلب زراعة بعض الأعضاء؛ مثل الأجنحة زراعة مئات الآلاف من الجينات في ترتيب معين من دون أي خلل في ربطها أو هندستها. وربما لا يكون في وسع العلماء تحقيق ذلك في القرن الحاضر.

وقد يتجه الاهتمام بدلاً من ذلك إلى استنساخ الحيوانات التي انقرضت منذ عهدٍ بعيدٍ بهدف إعادتها إلى الحياة. غير أنه من المؤسف أن الدنا تتحلل مع مرور الأيام. وعلى سبيل المثال تم اكتشاف الكثير من جثث الماموث (وهي سلالةٌ من الفِيَلة المنقرضة) في سيبيريا مجمدة في الجليد أو في السهول الجليدية الجرداء. وقد تم العثور مؤخراً على جثة ماموث عمرها نحو أربعة آلاف عام وهي في حالة سليمة. غير أن عينة الدنا المأخوذة من مثل هذه الحيوانات المنقرضة تظهر أن الدنا فيها قد تحلَّل إلى آلاف الجزيئات الدقيقة.[12]

وقد يصبح الاستنساخ البشري احتمالاً قائماً وممكناً بعد تسوية المشكلات الفنية المعوقة له. وبرغم أن الاستنساخ سيتم حظره في معظم الأحيان، فإنه سيكون من العسير تنظيم

هذه التقنية مع انتشار المختبرات غير القانونية التي تقوم بذلك. غير أن سوق الاستنساخ البشري ستكون محدودةً على الأرجح، وهكذا ستبقى نسبياً غير مهمة. فقد ترغب قلةٌ بإجراء عملية استنساخ بشري (مثل الأثرياء الذين لا يجدون أحداً يرثهم، أو الآباء الذين يودون الاستعاضة عن طفل متوفى). ومثلما أثار أطفال الأنابيب جدلاً أخلاقياً عارماً عندما وُلدت أول طفلة أنابيب في العالم فإننا نتقبل أطفال الأنابيب الآن من دون تردد. إن بني البشر سيتقبلون – على الأرجح – فكرة أن نسبةً ضئيلةً من الجنس البشري هم مستنسخون.

الطب

في الوقت الراهن يحكم الطبيب على صحة أحدنا من خلال إجراء اختبارات أولية؛ مثل: فحص الدم وتخطيطات القلب وغير ذلك. ولكن في غضون الأعوام العشرين المقبلة ستنخفض تكلفة رسم خريطة التسلسل الجيني إلى حدود مذهلة، وهذا سيحدونا جميعاً إلى امتلاك خريطة جينومية كاملة لتشكل أساساً لكل التشخيصات الطبية اللاحقة.

وسيبادر الطبيب بمجرد دخول مريض ما إلى عيادته إلى أخذ عينة من جلده أو دمه أو لُعابه ليضعها في آلةٍ صغيرةٍ (لتكن "المستقرئة" مثلاً) والتي ستعدُّ بدورها قرصاً مدمجاً يضم معلومات عن 30,000 جينة بشرية في جسمه. ومن ثم سيدخل الطبيب القرص المدمج في الحاسوب ليحلل كل الاحتمالات الممكنة للإصابة بمرض القلب أو السرطان أو مئات الأمراض الأخرى. وهكذا سيتمكن الطبيب من استقراء صحة مريضه والأمراض التي قد تصيبه في المستقبل.

أما فيما يتعلق بالأمراض فسيتاح لنا في المستقبل أن نطالع الخريطة الجينومية الكاملة لأشكال الحياة كافة على الإنترنت. وهذا سيغير نظرتنا إلى الأمراض وعلاجاتها. ففي الوقت الحاضر نتوصل إلى مضادات حيوية جديدة بطريقة التجربة والخطأ، بل إن العملية برمتها "محوسبة" و"مُرَوْبطة". غير أن قدرتنا على قراءة جينوم أمراض معينة قراءةً كاملةً وعزل الآلية الدفاعية على المستوى الجزيئي ستمكننا من صوغ "مضادات حيوية بحسب الطلب" في ذاكرة الحاسوب، وهذا الأمر ذاته سيحد من تكلفتها.

وعلى سبيل المثال سيتمكن العلماء من تحديد الجزيئيات الضرورية لتفتيت جدران الخلايا المريضة؛ ومن ثم صناعة مضادات حيوية جديدة قادرة على تولي هذه المهمة. وعندما تتحول البكتيريا وتطور آليات لصدّ المضادات الحيوية، سيتمكن العلماء من عزل هذا التحول والتوصل إلى طرائق جديدة لتحييدها من دون الحاجة إلى التجربة والخطأ.

ولكن، لا يعني ذلك مطلقاً أننا سنتمكن في غضون الأعوام العشرين القادمة من معالجة الأمراض كافة؛ إذ من المرجح أن تبقى الأمراض أمراً شائعاً، ولاسيما أن الجراثيم والفيروسات تتحول بسرعةٍ فائقةٍ، حتى إنها تتطور بسرعة تفوق سرعة الإنسان بملايين المرات. وبرغم ذلك ستحقق البشرية نجاحاً باهراً في معالجة الأمراض بأشكالها المختلفة، وإن كان بعضها سيغير طبيعته للتحايل على طرائق المعالجة المستحدثة.

وعلاوةً على ذلك، ستظهر بعض الأمراض "الجديدة" مثل الإيبولا على حين غرة. وقد تكون هذه الأمراض قديمةً بل موغلةً في القدم؛ وإذا كانت الإصابات محدودةً في السابق فمردُّ ذلك إلى أن البشر كانوا معدودين. غير أن الحضارة الإنسانية قد قادت أبناءها إلى بيئات متنوعة لم يعهدوها من قبل، وقد يحدث أن تنتشر الأوبئة القديمة في أرجاء المعمورة مثل النار في الهشيم. وعلى سبيل المثال فإن داء المحاربين القدماء (legionnaire's disease) وداء لايم* ومتلازمة الصَّدمة السُّمِّية (toxic shock syndrome) هي أمراض قديمة على الأرجح غير أنها استدلت على طرائق جديدة تمكنها من الانتشار في الوقت الذي تتقدم فيه التقنية وتدخل فيه البشرية عصراً جديداً.

الجدل الاجتماعي

يبدو حتمياً في غضون الأعوام العشرين المقبلة أن تنخفض تكلفة التقنية انخفاضاً ملحوظاً، وسيتمكن الإنسان المتوسط من الاستفادة من معظم التقنيات الحديثة. كما ستضيق شيئاً فشيئاً "الفجوة الجينية" بين الدول الغنية والدول الفقيرة مع تراجع قيمة التقنيات المتصلة بها. وقد تختفي "الفجوة الجينية" بالطريقة نفسها التي اختفت بها

* مرضٌ يُنسبُ إلى مدينة لايم في ولاية كونيتيكت الأمريكية حيث ظهر أوَّل مرة، وتسببه الدودة الملتوية أو اللولبية. (المترجم)

"الفجوة الكهربائية" و "الفجوة الرقمية". فقد كانت تكلفة الكهرباء (مع نهاية القرن الثامن عشر وبداية القرن التاسع عشر) والحواسيب (في تسعينيات القرن المنصرم) عاليةً، وهو الأمر الذي أقلق بعض المتابعين من حدوث فجوة بين الأغنياء والفقراء؛ غير أن قيمة الكهرباء انخفضت في القرن العشرين، ومن المرجَّح أن تنخفض أسعار رقائق الحاسوب في الأعوام العشرين المقبلة لتصل إلى دراهم معدودة، وهذا سيجعل الكهرباء والحواسيب معاً سلعتين شبه مجانيتين. وقد تلقى التقنيات الجينية في نهاية المطاف المصيرَ نفسه.

وسيدور الجدل الاجتماعي في العقدين المقبلين حول المدى الذي ستصل إليه الهندسة الجينية وتطبيقاتها على بني البشر، والصفات التي ستعدُّ مرغوباً فيها أو مرغوباً عنها. كما سيثار جدلٌ في الدول الغربية، التي يُصنَّف سكانها في فئةٍ عمريةٍ متقدمةٍ، حول إطالة العمر والمدى الذي يمكن أن نصل إليه. وإذا تمكن الطب فعلاً من إطالة عمر الإنسان من دون أن يحسن نوعية الحياة فإن نظم الرعاية الصحية المطبقة في تلك الدول ستعاني الأمرَّين مع تقدم السكان في السنّ. وإذا ما أردنا أن نطيل عُمر الإنسان حقاً فإن علينا في الوقت نفسه أن نحافظ على صحته وعافيته. وقد نواجه مع تراجع معدلات الولادة وأعداد السكان في الدول الغربية هوّةً اجتماعيةً خطيرةً بين السكان المتقدمين في السن والمهاجرين الجُدد.

أما دول العالم الثالث فقد تواجه مشكلاتٍ مختلفةً تماماً. فالتقدم الذي يشهده الطب سيطيل متوسط عُمر الإنسان يوماً بعد آخر في هذه الدول، وهذا سيجعل من الصعب عليها أن تطعم الأعداد المتزايدة من السكان أو أن توفر لهم وظائف كافية. وهذا - أيضاً - قد يسبب اضطرابات اجتماعية، وهو الأمر الذي حدث بالفعل في مناطق متفرقة من العالم بعد تحسن الأحوال الصحية فيها.

كما ستتمكن في العقدين المقبلين من السيطرة على تطور الإنسان إلى حدٍّ ما، بل سنقرر طبيعة التركة الجينية لجنس بني البشر. وقد يثير ذلك جدلاً هو الأعمق في تاريخ البشرية، وسيدور الجدل تحديداً حول المدى الذي سنذهب إليه في إعادة تصميم أنفسنا. لذا نجد مثلاً أنه إذا أضحى الأطفال المولودون بحسب مواصفات معينةٍ محدّدة مسبقاً حقيقةً واقعةً، فإن بعض العلماء يرى وجوب إقرار قوانين صارمة تقيِّد عدد الجينات التي يمكن

تعديلها ونوعها؛ بينما يرى علماء آخرون ضرورة السماح بالمعالجة الجينية على مستوى الخلايا الجسدية لمعالجة عيوب جينية عدة، ولكنهم في الوقت ذاته ينادون بحظر المعالجة الجينية على مستوى الخلية الجنسية أو الإنتاشية* لأنها تحدث تغييراً دائماً في جينات ذريتنا. وبالمقابل هناك من العلماء من يرى ضرورة السماح بالمعالجة الجينية على مستوى الخلية الجنسية أو الإنتاشية مادامت تساعدنا في القضاء على أمراض بعينها، على أن يتم تجنبها في قضايا شكلية معينة كأن نسعى لجعل امرئ ما أكثر وسامةً مثلاً. (ولكن بما أن الأبوين ينقلان وراثياً كلّ صفاتهما التطورية إلى ذريتهما، فإننا سنظل نرى مختبرات تعمل بطريقةٍ غير شرعيةٍ وتعد عملاءها بتغيير سمات ذريتهم. وإذا ما أخذنا الأهمية التي توليها مجتمعاتنا للوسامة وتحقيق درجات جيدة في الدراسة بالحسبان، فإن الآباء سيسعون سعياً حثيثاً لتطبيق هذه التقنية على أبنائهم).

وقد تسعى النظم الديكتاتورية - بالمثل - لاستغلال هذه التقنية كأن تحاول مثلاً أن تصنِّع جرثومة بمواصفات معينة بحيث تحمل جرثومة ما الأيدز وتحمل الأخرى الإيبولا بهدف إبادة مئات الملايين من البشر. وقد تسعى نظم ديكتاتورية أخرى لتخليق جنود مبرمجين جينياً، يتصفون بقوة خارقة وولاء لا يضاهى، ولكنهم يتصفون أيضاً بذكاء محدود. وقد يملك ديكتاتور صغير أدوات لم يحلم بها هتلر نفسه من قبل.

وهذه التقنية في جوهرها أقوى من القنبلة النووية. وإذا كانت الحقبة النووية قد بدأت خلال الحرب الباردة، فإن السرية الحكومية غطت على كوارث وأعمال غير أخلاقية كبيرة. أما اليوم فإننا نرى بأم أعيننا مواقع عدة للمخلفات النووية الملوثة في الولايات المتحدة الأمريكية وروسيا، تبدو كقرحة في جسم الأرض، أما تكلفة إزالتها فتصل إلى 500 مليار دولار أمريكي على أقل تقدير.

* تُقسمُ المعالجة الجينيةُ إلى قسمين؛ أولهما المعالجة الجينية على مستوى الخلايا الجسدية (somatic gene therapy)، أي معالجة العيوب الجينية على مستوى خلايا الجسم كافة ما عدا الخلايا الجنسية (الحيوان المنوي عند الذكر والبيضة عند الأنثى)؛ وثانيهما المعالجة الجينية على مستوى الخلية الجنسية أو الإنتاشية (germline gene therapy)؛ حيث تتم معالجة الحيوان المنوي عند الذكر والبيضة عند الأنثى. وللمعالجة الجينية على مستوى الخلية الجنسية أو الإنتاشية محاذيرها لأنها تحدثُ تغيراً دائماً في الأنماط الجينية. (المترجم)

واليوم، تنمو التقنية الحيوية بالسرعة نفسها التي نمت بها الصناعة النووية في القرن المنصرم. أما الفرق بين الاثنتين فهو أن التقنية الحيوية تتطور تحت أنظار وسائل الإعلام والنقاد الذين يتفحصون أوجهها. وفي هذا السياق، فإن مصيرها سيتحدد بالمناقشة الديمقراطية. وإذا ما ألمّ العامة بالتقنية الحيوية وقوتها وما تعدنا بها فإنهم يصبحون مؤهلين للخوض في مناقشات معقدة ومتطورة حول إمكاناتها. ولعلّ ما يجب علينا هو أن نثقف العامة بشأن التقنية الحيوية وإمكاناتها ومحاذيرها؛ بحيث يقررون بديمقراطية وحكمة المدى الذي سنذهب إليه في تطوير هذه التقنية وتطبيقها.

الفصل الثاني

ما تعنيه التقنية الحيوية لمستقبل البشرية

جيرمي ريفكن

من المرجح أن تتغير حياتنا تغيراً جوهرياً في العقود القليلة المقبلة يفوق أي تغير شهدناه في الألفية المنصرمة. وبحلول عام 2025 قد يعيش جيلنا والجيل المقبل في عالم مختلف اختلافاً تاماً عما عرفته البشرية من قبل. ومن المرجَّح أيضاً أن نعيد النظر في الكثير من المقولات التي طالما آمنا بها حول الطبيعة، بما في ذلك الطبيعة البشرية نفسها. كما قد نتخلى - ولو جزئياً - عن الكثير من الممارسات التي طالما عرفناها، ومنها ما يتعلق بالعملية الجنسية أو التناسل أو الولادة أو الأبوة. كما يرجح أن نعيد تعريف أفكارنا حول المساواة والديمقراطية، وكذلك رؤيتنا لمفاهيم طالما رددناها، مثل "الإرادة الحرة" أو "التقدم".

وقد التقت قوى عدة لخلق هذا التيار الاجتماعي القوي الناشئ، أهمها ثورة تقنية لم تعرف البشرية لها شبيهاً عبر تاريخها في قوتها التي ستمكننا من إعادة تشكيل أنفسنا، ومؤسساتنا، وعالمنا. لقد بدأ العلماء يتعرفون على الحياة على المستوى الجيني. وتعطينا أدوات علم الأحياء الجديدة فرصةً غير مسبوقة لإعادة صوغ منظومة الحياة على كوكبنا. ويمتد أمامنا الآن عالم مجهول وغير مطروق، هو العالم الذي تتشكل ملامحه في آلاف مختبرات التقنية الحيوية في الجامعات والمؤسسات الحكومية والمؤسسات حول العالم. وحتى لو حققنا شيئاً يسيراً مما تعدنا به التقنية الحيوية اليومَ لكان من المرجح أن تكون تبعات ما سنحققه على مجتمعاتنا وأجيالنا المستقبلية عظيمة وعميقة. وسنناقش في هذا الفصل بعض الأمثلة على التطورات التي يمكن أن يشهدها العالم في غضون الأعوام الخمسة والعشرين المقبلة.

وقد تملك مجموعة محدودة من الشركات العالمية والمؤسسات البحثية والحكومات حقوقَ الملكية الخاصة "بالمائة ألف جينة" أو أكثر التي تشكل معاً البصمة الوراثية للجنس البشري، بل قد تمتد حقوق الملكية إلى خلايانا وأعضائنا وأنسجتنا التي تشكل معاً الجسم

البشري. وقد تملك هذه الأطراف أيضاً حقوق الملكية الخاصة بعشرات الآلاف من الكائنات الدقيقة والنباتات والحيوانات، وهذا سيعطيها قوة غير مسبوقة لإملاء شروط معيشة الأجيال الحالية والمستقبلية معاً.

وقد تجد الزراعة العالمية نفسها في خضمٍ مرحلة انتقالية عظيمة لا نظير لها في تاريخ العالم؛ إذ ستتمكن من استنبات كميات ضخمة من الأغذية والألياف بفضل الزراعة الداخلية، وذلك في مُستنبتات نسيجية في مُستحضرات جرثومية ضخمة وبتكلفة يسيرة جداً مقارنة بالزراعة التقليدية للمحاصيل. وقد يمهد التحول نحو الزراعة الداخلية إلى انتهاء الحقبة الزراعية في نهاية المطاف، تلك الحقبة التي امتدت من العصر الحجري الحديث منذ نحو عشرة آلاف عام حتى الثورة الخضراء في النصف الثاني من القرن العشرين. وعلى حين أن الزراعة الداخلية قد تعني تكلفة ضئيلة ومحاصيل غذائية وفيرة، فإن ملايين المزارعين في الدول النامية والمتقدمة معاً سيُقتلعون من أراضيهم، وهذا قد يشعل شرارة ثورة اجتماعية عظيمة قل نظيرها في تاريخ البشرية.

ومن المحتمل أن يطلق العلماء عشرات الآلاف من الحيوانات والنباتات والفيروسات والجرثومات المهجنة جينياً في المنظومة البيئية الأرضية في مهام تجارية تتراوح بين "المعالجة الحيوية" وإنتاج أشكال بديلة من الوقود. ومن المحتمل أن تعيث هذه المخلوقات فساداً في الغلاف الحيوي للأرض، مسببةً "تلوثاً جينياً" مدمراً بل فتاكاً في أرجاء كوكبنا. وقد تكون للاستخدامات العسكرية لهذه التقنية الناشئة آثار مدمرة مماثلة، سواء بالنسبة إلى الأرض أو بني البشر عامة. وقد تشكل الأسلحة البيولوجية المهندسة جينياً تهديداً خطيراً للأمن العالمي في القرن المقبل يعادل تهديد الأسلحة النووية في الوقت الراهن.

وقد يصبح استنساخ الحيوانات والبشر أمراً شائعاً؛ بحيث يحل "الاستنساخ" محل "التناسل" جزئياً أول مرة في تاريخ البشرية. ويمكن أن تُستغل المستنسخات الحيوانية المخصصة جينياً والمنتجة على نطاق واسع - في دمها وحليبها - في إفراز كميات ضخمة من المواد الكيميائية والعقاقير الدوائية التي يحتاج إليها الإنسان. وقد نشهد تخليق مجموعة من الحيوانات الممسوخة على الأرض - بما في ذلك المهجنات البشرية/ الحيوانية - لاستخدامها في التجارب والدراسات الطبية، وربما تؤخذ من هذه المهجنات الأعضاء اللازمة لعمليات "الزراعة المغايرة".*

* زراعة أعضاء غير بشرية في بني البشر. (المترجم)

وقد يعني تخليق الحيوانات المستنسخة والممسوخة والمهجنة وتوالدها نهاية عالم "الحياة البرية الطبيعية" ليحل محله عالم "الحياة الصناعية ـ الحيوية".

وقد يختار بعض الآباء أن تُخصب البويضة في أنابيب الاختبار، على أن تُحمل البويضة المخصبة في رحم اصطناعية خارج الجسم الحي لتجنب آلام الحمل ومتاعبه، كما أن الرحم الاصطناعية آمنة وشفافة ويمكن مراقبة الأجنة في أثناء نموها وتطورها من خلالها. ويمكن إجراء التغييرات الجينية على الأجنة المُخَلَّقة في الأرحام لمعالجة أمراض أو علل قاتلة أو لتحسين المزاج أو السلوك أو الذكاء أو حتى الصفات الجسدية. وقد يُمهِّد الأطفال "ذوو الصفات المُخصصة" الطريق أمام حضارة ذات نسل أفضل في القرن الحادي والعشرين.

وسيكون متاحاً لملايين البشر أن يحصلوا على خريطة جينية مفصلة لأنفسهم، فيسهل عليهم استقراء مستقبلهم من الناحية البيولوجية. وستعطي هذه المعلومات الجينية بني البشر القدرةَ على التنبؤ بمسيرة حياتهم والتخطيط لها على نحو لم يكن ممكناً من قبل. غير أن هذه المعلومات الجينية نفسها يمكن أن تستغلها المدارس وأرباب العمل وشركات التأمين والحكومات في تحديد المسيرة التعليمية، وفرص التوظيف، وأقساط التأمين، وبراءات الذمة الأمنية على التوالي، فيمهد ذلك الطريق إلى ظهور شكل من التمييز ذي طبيعة خبيثة؛ حيث إنه مبني على "القراءة الجينية" للفرد. ويمكن - أيضاً - أن تتغير مفاهيمنا للمخالطة الاجتماعية والمساواة وغيرها. وقد تزول الأحكام المبنية على الأهلية العملية لتحل محلها أحكام مبنية على "الأهلية الجينية"؛ بحيث يتم تصنيف الأفراد والجماعات الإثنية والعرقية، بل النظر إليها، من منطلقات جينية صرف، وهذا قد يؤدي إلى ظهور منظومة "غير رسمية" للفرق أو الطوائف البيولوجية في دول العالم أجمع.

وقد يحقق قرن التقنية الحيوية بعض هذه التحولات أو ربما يحقق معظمها ويحقق غيرها الكثير في حياتنا اليومية، وهذا سيحدث تأثيراً عميقاً في وعينا الفردي ووعينا الجماعي، وفي مستقبل حضارتنا، بل في الغلاف الحيوي نفسه. إننا نعيش مخاضاً عسيراً قد نشهد في نهايته بعض أعظم التحولات في تاريخ البشرية. إننا ننتقل من عصر الوقود الأحفوري والمعادن إلى عصر الجينات.

اقتران الحواسيب والجينات

طوال عشرة أعوام أو أكثر بَشَّرَ مستشرفو المستقبل وعلماء الاقتصاد وصناع السياسات العامة بقدوم عصر المعلومات، من دون إعطاء التطورات الثورية في علوم الحياة اهتماماً كافياً. غير أن الوضع قد بدأ يتغير تماماً؛ إذ نرى الآن أن الثورتين التقنيتين العظيمتين اللتين شهدهما العالم في الأعوام الخمسة والعشرين المنصرمة قد التقتا أخيراً فخلق هذا حقبةً اقتصاديةً جديدة في تاريخ العالم؛ إذ يعمد العلماء في أرجاء العالم المختلفة الآن إلى استخدام الحواسيب لتحميل المعلومات الجينية الهائلة وتصنيفها وتنظيمها، تلك المعلومات التي تُعد مادةَ اقتصاد التقنية الحيوية الناشئ. وبالمثل، فإن العلماء في مختبرات المؤسسات الحكومية والجامعات والشركات يستخدمون الحواسيب أيضاً لوضع الخريطة الجينومية الكاملة وتسلسلها للكائنات المختلفة، بدءاً من البكتيريا الدقيقة وانتهاء بالإنسان؛ بهدف التوصل إلى طرائق جديدة تمكنهم من الاستفادة من المعلومات الجينية في المناحي الاقتصادية. ويأمل علماء علم الأحياء الجزيئي أن يتمكنوا مع حلول نهاية القرن الحادي والعشرين من فهرسة المعلومات الجينومية لآلاف الكائنات الحية وتحميلها، وهو ما سيشكل حينذاك مكتبةً ضخمةً تضم "البصمة الوراثية" للكثير من الكائنات الدقيقة والنباتات والحيوانات التي تعيش على الأرض. إن وضع الخريطة الجينومية لهذه الأنواع مجتمعةً - على حد تعبير عالم الكيمياء الحيوية تشارلز كانتور(Charles Cantor)، كبير العلماء في مشروع الجينوم البشري في وزارة الطاقة الأمريكية - «سيعطينا معلومات لم تعرف البشرية مثيلاً لها في ضخامتها». فالمعلومات البيولوجية المُولَّدة ضخمة إلى حد أنه لا يمكن إدارتها إلا من خلال الحواسيب؛ حيث إنها مخزنة إلكترونياً في آلاف قواعد البيانات حول العالم.

ويمثل وضع الخريطة الجينومية وتسلسلها البداية فقط. إن فهرسة شبكات العلاقات القائمة بين الجينات والأنسجة والأعضاء والكائنات الحية والبيئة الخارجية وفهمها أولاً، والاضطرابات التي تسبب الطفرات الجينية والآثار الظاهرة التي تسببها الاختلافات الجينية ثانياً، عمليات غير مسبوقة حتى إنه ليصعب على المنظومات المعقدة التي تم تصميمها أو فك شفرتها حتى الآن أن تستوعبها أو تحيط بها؛ ولذا لابدّ من وجود منهجية

مبنية على مباحث علمية مختلفة على أن تقترن هذه المنهجية بالمهارات الحوسبية لخبراء المعلومات إذا ما أردنا أن نحيط بما سبق ونمضي في هذا الدرب.

وليس غريباً أن نرى المعلوماتية الحيوية (bioinformatics) التي كانت في السابق تابعاً أو رديفاً لعلم الأحياء الجزيئي، قد أضحت بين ليلة وضحاها مبحثاً منفصلاً؛ إذ يصبُّ أقطاب الحاسوب مثل بيل جيتس (Bill Gates)، وأقطاب المال مثل: مايكل ميلكين (Michael Milken) أموالاً طائلةً في حقل المعلوماتية الحيوية؛ على أمل تعزيز العلاقة الوثيقة بين المعلومات وعلوم الحياة.

براءات اختراع الحياة

لقد جعلنا وضع الخريطة الجينومية البشرية نصبُّ اهتمامنا على تغير جذري يشهده الاقتصاد العالمي الآن، فنحن الآن في خضم نقلة تاريخية من العصر الصناعي إلى عصر التقنية الحيوية. وعلى حين أن القرن العشرين قد تشكل إلى حد بعيد بفعل الإنجازات العلمية في مجالي الفيزياء والكيمياء، فإن القرن الحادي والعشرين سيكون من نصيب العلوم الأحيائية.

وتُعد الجينات مادة الحقبة الاقتصادية الجديدة؛ إذ يعكف علماء علم الأحياء الجزيئي حول العالم الآن على وضع الخريطة الجينومية للكائنات الحية المختلفة، بدءاً من البكتيريا الدقيقة وانتهاء بالإنسان، وهم بذلك ينشئون مكتبةً جينيةً عملاقةً يمكن الاستفادة منها اقتصادياً. وقد تم بالفعل الاستفادة من التقنية الجينية في مجالات اقتصادية متنوعة - بما في ذلك الزراعة، وتربية الحيوانات، والطاقة، والمواد الإنشائية، والعقاقير الدوائية، والطب، بل صناعة الأطعمة والمشروبات - وذلك في سياق الجهود المبذولة لخلق عالم صناعي - حيوي.

إن القضية الأهم التي يتم طرحها في المناقشات العامة حول التجارة الجينية الناشئة هي قضية ملكية براءات اختراع البصمة الوارثية التي تشكلت طوال ملايين السنين من النشوء. وستفرض القوى الاقتصادية والسياسية المتحكمة بالموارد الجينية على كوكبنا

سيطرةً واسعةً على مستقبل الاقتصاد العالمي، وهذا يذكرنا تماماً بالعصر الصناعي حين آلت السيطرة على الأسواق العالمية إلى القوى المتحكمة بالوقود الأحفوري والمعادن.

وفي الأعوام المقبلة ستشكل الجميعة الجينية المتناقصة مصدراً ذا قيمة مالية متنامية. وتجوب الشركات العملاقة المتعددة الجنسيات قارات العالم بحثاً عن ميكروبات أو نباتات أو حيوانات أو حتى بشر بصفات جينية نادرة قد تكون لها قيمة سوقية معينة. وما إن ترصد هذه الشركات الصفات المرغوب فيها فإن شركات التقنية الحيوية تعدلها ومن ثم تسعى لتسجيلها باسمها مادامت قد "اخترعتها".

وتلقى جهود الشركات لـ "تسليع" الجميعة الجينية مقاومةً قويةً من عدد متزايد من المنظمات غير الحكومية ودول العالم في النصف الجنوبي من الكرة الأرضية التي بدأت بدورها تطلب حصةً عادلةً من الثروة المتحققة بفعل ثورة التقنية الحيوية. فعلى حين تحصر الخبرة التقنية اللازمة لتغيير "الذهب الأخضر" وتعديله في المختبرات العلمية والشركات الواقعة في النصف الشمالي من الكرة الأرضية، فإن معظم الموارد الجينية اللازمة لهذه الثورة الناشئة موجودة في المنظومة البيئية للنصف الجنوبي من الكرة الأرضية.

وتثير قضية حقوق ملكية الحياة وأشكالها تساؤلات قانونية مهمة حول إمكان أن في استطاعتنا أن نَعُدَّ الجينات المهندسة، والخلايا، والأنسجة، والأعضاء، بل الكائنات الحية اختراعاً بشرياً حقيقياً، أو أن كل ذلك مجرد اكتشافات من الطبيعة طوَّعها الإنسان وعدلها ببراعة. وقد اعتدنا في معظم البلدان أن يثبت المخترع أن ما يريد تسجيله باسمه لم يسبقه إليه أحد، أو لم يصنعه من قبله أحد، وأن ما يريد - أخيراً - تسجيله باسمه ليس بسيطاً أو واضحاً إلى الحد الذي يمكن أن يكون قد استوحاه من أعمال سابقة وأن ما يريد تسجيله باسمه مفيدٌ في وجه أو أكثر. وحتى إذا افترضنا أن كل ما سبق ينطبق على شيء ماخلا أنه جزء من الطبيعة، فإن ذلك ينفي عنه صفة الاختراع تماماً؛ لذا، فإن اكتشاف المواد الكيميائية الموجودة في الجدول الدوري - وإن كانت المواد نفسها تنطبق عليها الصفات السابقة المُؤهِّلة لصفة الاختراع من فرادتها وعدم بساطتها عند عزلها وتنقيها وفوائدها - لم تُسجل كاختراعات باسم طرف ما؛ لأنها ببساطة مُكتشفة من الطبيعة، وإن كان عزلها وتصنيفها قد تطلبا جهداً بشرياً بارعاً. غير أن مكتب تسجيل براءات الاختراع في

الولايات المتحدة الأمريكية قد عبَّر عن رأيه بأن عزل الجينات وتصنيف صفاتها ووظائفها أمرٌ مُؤهِّلٌ لجعلها اختراعاً يستحق تسجيله باسم طرف ما.

وتصبح القضية أكثر تعقيداً عندما يتعلق الأمر بتسجيل براءة اختراع لخلية أو عضو مُعدّل وراثياً أو حتى حيوان كامل. فهل تُسجل براءة اختراع لكلية أو بنكرياس لمجرد أننا أخضعنا أياً منهما لتعديلات جينية طفيفة؟ فماذا يقال إذن عن الشمبانزي؟ إذ يشترك هذا الحيوان مع الإنسان بنحو 99٪ من بنيته الوراثية. هل سنعدُّ الشمبانزي اختراعاً بشرياً إذا ما أدخل العلماء جينةً واحدةً في بنيته البيولوجية؟ الجواب هنا سيكون بنعم في ظل ما قاله مكتب تسجيل براءات الاختراع.

من المرجح أن تثير قضية براءات الاختراع قلقاً عاماً متزايداً في ظل الإنجازات الباهرة التي حققها مشروع الجينوم البشري الذي تموله الحكومة الأمريكية. فمن المتوقع في غضون عشرة أعوام أو أقل أن يتمكن العلماء من تحديد جميع الجينات التي تشكل البصمة الوراثية البشرية تقريباً؛ لتصبح لاحقاً ملكيةً فكريةً لشركات علوم الحياة العابرة للحدود. وتقوم هذه الشركات أيضاً بتسجيل براءات اختراع للكروموسومات، وخطوط الخلايا، والأنسجة، والأعضاء البشرية. هذا وقد حصلت شركة بي. بي. إل. ثيرابيوتكس (PPL Therapeutics) – وهي شركة علوم الحياة التي استنسخت النعجة دولي – على براءة اختراع من مكتب براءات الاختراع البريطاني، وتعد براءة الاختراع المذكورة الأجنة البشرية المستنسخة ملكيةً فكريةً.

وتثير الهيمنة المتزايدة للشركات على البصمة الوراثية البشرية، والتقنيات المستخدمة لدراستها، قلقاً خاصاً لأن ثورة التقنية الحيوية ستؤثر في كل جانب من حياتنا جميعاً؛ إذ ستؤثر في الطريقة التي نطعم بها، والطريقة التي نختار بها طرفاً من الجنس الآخر، والطريقة التي نتناسل بها، والطريقة التي نربي بها أبناءنا ونعلمهم ، والطريقة التي نعمل بها، بل الطريقة التي ننظر بها إلى العالم من حولنا ومكاننا فيه. فالواقع من حولنا، بجوانبه الفردية والجماعية، سيتأثر تأثراً عميقاً بفعل ثورة التقنية الحيوية.

وتعصف فكرة براءات اختراع الحياة بأفكارنا ومبادئنا حول طبيعة الحياة، واحتمال أنها ذات قيمة جوهرية متأصلة أو أنها ذات قيمة منفعية فقط. لقد أثير جدل عظيم حول قضية

مشابهة في القرن التاسع عشر؛ وكان ذلك تحديداً حول قضية العبودية البشرية؛ حيث قال المطالبون بإلغائها وبطلانها: إن الإنسان "له حقوق أعطاه الله إياها" ولا يمكن أن يكون ملكيةً تجاريةً لغيره. وعلى غرار المطالبين ببطلان العبودية، فإن جيلاً من الناشطين في مجال الثورة الجينية قد راح يتحدى مفهومَ إصدار براءات اختراع للحياة البشرية، رافضين أن تصبح الجينات، والكروموسومات، وخطوط الخلايا، والأنسجة، والأعضاء، والأجنة البشرية جميعاً ملكيةً فكريةً تجاريةً واقعة تحت هيمنة الشركات العالمية العملاقة لتتاجر بها بوصفها سلعاً فقط.

ولابد أن نَعُدَّ رسمَ الخريطة الجينومية البشرية نصراً للبشرية جمعاء؛ لذا فإن المعرفة المتأتية من تحديد مواقع الجينات التي تشكل مصيرنا - نحن بني البشر - من الناحية البيولوجية يجب أن تكون مسؤولية بشرية مشتركة أيضاً.

وستمثل الجهود المضنية الرامية إلى جعل الجميعة الجينية على كوكبنا ملكية عامةً، غير خاضعة لاستغلالات تجارية، إحدى أهم المعارك الفكرية في قرن التقنية الحيوية. ومن المرجح أن تكون "الحقوق الجينية" القضية الأهم في الحقبة المقبلة، وهذا سيلقي بثقله على "الأجندة" السياسية في الأعوام المقبلة.

سِفر تكوين جديد وانتشار التلوث الجيني

في ظل عولمة التجارة سيكون ممكناً أن يُعاد تشكيل الغلاف الحيوي للأرض بفعل سِفْر التكوين الجديد الذي يُصاغ الآن في المختبرات المنتشرة حول العالم، وسنجد أنفسنا أمام طبيعة صناعية ـ حيوية مُصطنعة مُصممة لتحل محل المسيرة النشوئية للطبيعة. وتمدنا الترسانة المتنامية من التقنيات الحيوية بالأدوات القوية اللازمة لما سيكون على الأرجح أكثر تجارب البشرية راديكاليةً عبر التاريخ، لأن البشرية ستجري تجربتها هذه المرة على أشكال الحياة والمنظومة البيئية. ولنتخيل نقل مجموعات جينية بين أنواع حية لا علاقة بينها؛ بحيث نعبر كل الحدود البيولوجية الفاصلة بين النباتات والحيوانات والإنسان، ولنُخَلِّق في نهاية المطاف آلاف الأشكال الحية غير المألوفة في غضون ما يمكن أن نراه لحظةً نشوئية وجيزة. ثم سنخلِّق - من خلال التوالد الاستنساخي - أعداداً مهولةً منها لنطلقها

لاحقاً في الغلاف الحيوي لتتكاثر ولتتغير وتهاجر وتستعمر أرضنا ومياهنا وهواءنا. إن هذه التجربة العلمية والتجارية العظيمة - في حقيقة الأمر - جارية الآن بالفعل ونحن على عتبة قرن التقنية الحيوية.

وقد بدأت صناعة علوم الحياة العالمية تحقق لنفسها هيمنةً غير مسبوقة على الموارد البيولوجية الضخمة في كوكبنا. وبدأت شركات "الحياة" العملاقة المهيمنة على أسواق التقنية الحيوية الناشئة تأخذ تحت مظلتها المباحث العلمية المعنية بعلوم الحياة، مثل الزراعة والطب البشري. وتنافس التكتلات والاندماجات الواقعة في صناعة علوم الحياة التكتلات والاندماجات والاستحواذات الجارية في مجالات عظيمة أخرى في القرن الحادي والعشرين، ومنها الاتصالات الحاسوبية، والترفيه، وخدمات المعلومات. غير أن شركات علوم الحياة لم تلقَ اهتماماً كافياً مقارنة بغيرها في وسائل الإعلام والسياسات العامة.

وتبدو التكتلات المهيمنة في مجال علوم الحياة باهرة. فعلى سبيل المثال، تستحوذ الشركات العملاقة العشر الكبرى في مجال المواد الكيميائية الزراعية على 81٪ من السوق العالمية للمواد الكيميائية الزراعية التي تصل قيمتها إلى نحو 29 مليار دولار أمريكي سنوياً. كما تسيطر عشر شركات عاملة في مجال علوم الحياة على 37٪ من سوق البذور العالمية التي تبلغ قيمتها 15 مليار دولار سنوياً. وتسيطر أيضاً عشر شركات عملاقة دوائية على نسبة 47٪ من السوق العالمية للعقاقير الدوائية التي تبلغ قيمتها 197 مليار دولار سنوياً. وبالمثل، تسيطر عشر شركات على نسبة 43٪ من السوق العالمية للعقاقير الدوائية البيطرية التي تبلغ قيمتها السنوية 15 مليار دولار أمريكي. وتأتي في مقدمة شركات علوم الحياة عشر شركات عابرة للحدود متخصصة في الصناعات الغذائية وصناعة المشروبات، بلغت قيمة مبيعاتها مجتمعة أكثر من 211 مليار دولار عام 1995.

ولن يحقق رؤساء الشركات العملاقة العاملة في صناعة علوم الحياة ثراء فاحشاً فحسب، بل إنهم سيفتحون الباب على مصراعيه أمام حقبة تاريخية تخضع فيها الحياة ونشوؤها للملكية البشرية. ويخشى النقاد من أن صوغ سفر تكوين جديد على كوكبنا سيقودنا إلى مستقبل مختلف تماماً، قد يسوده "تلوث جيني" بيولوجي في القرن المقبل،

وهذا سيدمر البيئات الطبيعية، ويقوِّض النظم البيئية، ويأتي على ما تبقى من تنوع حيوي على كوكبنا.

ومن المتوقع أن تطلق الشركات العالمية المتخصصة في علوم الحياة آلاف الكائنات المهندسة وراثياً وغير المألوفة لدينا في البيئة في القرن المقبل. وفي الأعوام الثلاثة المنصرمة زُرعت الذرة وفول الصويا والقطن بعد هندستها وراثياً في ملايين الفدانات في الولايات المتحدة الأمريكية، بل تم إطلاق الحشرات والأسماك والحيوانات الداجنة المعدلة وراثياً في البيئة.

وتشكل كل الكائنات المهندسة وراثياً التي تم إطلاقها في البيئة خطراً محتملاً على النظام البيئي. ولنفهم حقيقة الأمر علينا - أولاً - أن نفهم سبب الاختلاف بين التلوث الذي تسببه الكائنات المعدلة وراثياً والتلوث الناجم عن إطلاق منتجات بتروكيميائية في البيئة.

تختلف الكائنات المهندسة وراثياً عن المنتجات البتروكيميائية اختلافاً واسعاً. فالكائنات المهندسة وراثياً كائنات حية قبل كل شيء، وهذا سيجعل التنبؤ بتفاعلاتها مع الكائنات الحية الأخرى في البيئة أمراً صعباً؛ وذلك خلافاً للمواد البتروكيميائية؛ لذا يصعب علينا أن نقوِّم كل الآثار المحتملة للكائنات المهندسة وراثياً في النظام البيئي لكوكبنا.

كما أن الكائنات المهندسة وراثياً تتكاثر، وهي تنمو وتنتقل من موضع إلى آخر. و من الصَّعب - خلافاً للمواد البتروكيميائية - أن نقيِّد الكائنات المهندسة وراثياً ضمن حدود جغرافية معينة. وأخيراً، من المستحيل بأي حال من الأحوال أن نتمكن من إعادة الكائنات الحية المهندسة وراثياً إلى مختبراتنا، وخاصة الكائنات ذات الطبيعة المجهرية. لهذه الأسباب مجتمعةً، قد تشكل الكائنات المهندسة وراثياً مخاطر محتملة بعيدة المدى على البيئة مقارنةً مع المواد البتروكيميائية.

وتشبه مخاطر إطلاق كائنات مهندسة وراثياً وغير مألوفة من قبل في الغلاف الحيوي المخاطر التي ارتبطت بإطلاق كائنات سامة في البيئة الطبيعية في أمريكا الشمالية. فطوال

القرون المنصرمة تم إطلاق آلاف الكائنات الغريبة التي تم إحضارها من مناطق متفرقة من العالم في القارة الأمريكية. فعلى حين أن الكثير من هذه الكائنات تأقلم مع المنظومة الحيوية في أمريكا الشمالية من دون الإضرار ببيئتها، فإن بعضها قد عاث فساداً مدمراً في الحياة الحيوانية والنباتية في القارة الأمريكية. ومن أمثلة الكائنات والأمراض التي تحضرنا في هذا السياق العُثَّة الغجريَّة، وكَرْمَة كودزو (وموطنها الصين واليابان)، وداء شجرة الدَّردار المنسوب إلى هولندا، وآفة الكستناء، والزرزور، وذبابة الفاكهة المتوسطية.

وعند إطلاق الكائنات المهندسة وراثياً في البيئة، فإنه من غير المستبعد أن تُسْعَر وأن تدمر ما حولها، لأنها - مثل كل الكائنات غير المستوطنة - تُقحم بطريقة غير طبيعية في بيئة معقدةٍ مبنيةٍ على شبكة متداخلة من العلاقات المتشابكة التي تطورت على امتداد فترة النشوء. ويشكل إقحام أي كائن حي في مثل هذه المنظومة مغامرةً بيئةً ربما لا تكون محسوبة. وعلى حين تبقى الفرصة محدودةً في أن تسبب هذه الكائنات تدميراً بيئياً واسعاً، فإنها لو فعلت لكانت العواقب وخيمةً ولا يمكن تقويمها بأي حال من الأحوال.

وقد كشفت صناعة التأمين قبل أعوام عدة عن نيتها في ألا تؤمِّن على إطلاق كائنات مهندسة جينياً في البيئة وما قد يترتب على ذلك من أضرار بيئية كارثية؛ لأن صناعة التأمين غير مؤهلة في الوقت الراهن لتقويم المخاطر البيئية - أي أنها غير ملمة بالتنبؤ الإيكولوجي - لذا فإنها لن تستطيع أن تقدِّر المخاطر المترتبة على إطلاق مثل أي من هذه الكائنات. وباختصار، فإن شركات التأمين تفهم تماماً المضامين الكافكاوية* المترتبة على وجود حكومة تدعي أنها تنظم التقنية غير أنها لا تملك معرفةً واضحةً عما ستفعله الكائنات المعدلة جينياً عند إطلاقها في البيئة المفتوحة. وفي ظل عدم استعداد شركات التأمين للدخول في هذه المغامرة، سعت إحدى نقابات شركات التقنية الحيوية لأن تقيم تجمعاً تأمينياً بين المؤسسات الأعضاء فيها، غير أنها تراجعت عن ذلك عندما فشلت في جمع الأموال اللازمة. ويعبر بعض المراقبين على الدوام - وإن لم يكن ذلك علناً - عن قلقهم مما سيحدث لصناعة التقنية الحيوية في حال أدى إطلاق كميات ضخمة من الكائنات المعدلة جينياً إلى كارثة بيئية. وعلى سبيل المثال، فإن إطلاق عشبة أو آفة مثل كَرْمَة كودزو أو داء شجرة الدَّردار المنسوب إلى هولندا أو العُثَّة الغجرية قد يلحق أضراراً

* نسبة إلى الروائي النمساوي فرانز كافكا الذي شغله قلق الإنسان. (المترجم)

بالغةً بالحياتين النباتية والحيوانية على نطاق واسع من النظام البيئي. وعلينا – في الحقيقة – أن نضع "التطمينات" التي تطلقها الشركات جانباً؛ لأنه لا مفر من حدوث مشكلة بيئية مهمة في الأعوام المقبلة في حال إطلاق الكائنات المعدلة جينياً؛ وإذا ما حدث ذلك بالفعل، فإن كل دولة في العالم ستجد نفسها مُرغمةً على أن تناقش قضية المسؤولية. وسيطالب المزارعون وأصحاب الأراضي الزراعية والمستهلكون والعامة عموماً بمعرفة أسباب ما حدث وتحديد المسؤول عن الأضرار التي لحقت بهم. وسينضم "التلوث الجيني" عاجلاً لا آجلاً إلى التلوث البتروكيميائي والتلوث النووي، ليشكل تهديداً جديداً للبيئة المثقلة أصلاً بالتهديدات.

ويبدو أن أجراس الخطر ستُقرع بدايةً في التقنية الحيوية الزراعية؛ إذ طرحت شركات علوم الحياة محاصيل معدلة جينياً تضم صفات جينية غير مألوفة مستمدة من حيوانات أو نباتات أو فيروسات أو ميكروبات مختلفة. وقد تم تصميم هذه المحاصيل المهندسة وراثياً بطريقة ربما لا يلحظها العلماء الذين أمضوا حياتهم يعملون في التقنيات التقليدية. فقد أقحمَ العلماء جينات بروتينية "مضادة للتجمد" في الشفرة الجينية للطماطم بعد أخذها من السَّمكة المُفلطحة لحماية محصول الطماطم من الصقيع، كما أُخذت جينات من الدجاج وَزُرعت في البطاطا لزيادة مقاومتها للأمراض، كما أُخذت جينات من اليَراعَة وزُرعت في الشفرة الجينية للذرة لتكون واسماً جينياً، كما أُخذت جينات من الهَمْستَر الصيني (حيوان شبيه بالجرذان) وزرعت في جينوم التبغ لزيادة إنتاج مادة الأستيرول.

علماء الإيكولوجيا ليسوا متيقنين بعد من تبعات تجاوز الحدود الطبيعية البيولوجية وزراعة جينات مُستمدة من حيوانات ونباتات في نباتات لا علاقة لها بمصدر الجينات. والحقيقة أن البشرية لم تعرف عبر تاريخها تجارب من هذا القبيل. وطوال "عشرة آلاف الأعوام" المنصرمة، سادت تقنيات الزراعة والتربية الحيوانية التقليدية، وقد كان انتقال الجينات محصوراً بين النباتات والحيوانات ذات الصلة الوثيقة التي يمكن أن تتزاوج جنسياً؛ حيث كانت التركيبات الجينية المحتملة محدودة. ويبدو أن عملية النشوء الطبيعية كانت بشكل أو بآخر محدودة أيضاً. وبالمقابل، تتيح لنا تقنيات تأشيب الدنا الجديدة تجاوز الحدود البيولوجية الطبيعية السابقة؛ حيث أضحينا قادرين على تخليق أشكال حية لم تكن معروفة من قبل. ولننظر – على سبيل المثال – في الخطط الطموحة الرامية إلى هندسة

نباتات مهجنة قادرة على إنتاج مواد كيميائية ودوائية لمصلحة شركات صناعة العقاقير الدوائية. وستتعرض حيوانات المرعى والطيور التي تتغذى على البذور وحشرات التربة لمجموعة واسعة من العقاقير الدوائية، واللقاحات، والفيتامينات، والأنزيمات الصناعية، والمواد البلاستيكية، ومئات الأجسام الغريبة الأخرى المهندسة جينياً من دون أن نعرف تبعات ذلك. ونشعر بالقلق حقاً عندما نفكر في تبعات أن تأكل حيوانات معينة نباتات أو بقايا نباتية تضم توليفةً من المواد الكيميائية التي لم تعرفها أو لم تأكلها من قبل.

وينصب معظم الجهود الراهنة في التقنية الحيوية الزراعية على خلق نباتات مقاومة لمبيدات الأعشاب، ومبيدات الآفات، ومبيدات الفيروسات. وتُعد المحاصيل المقاومة لمبيدات الأعشاب أمراً مُحبباً لشركات عملاقة مثل مونسانتو (Monsanto) ونوفارتيس (Novartis) المتلهفة إلى أن تظفر بحصة الأسد في السوق العالمية لمنتجات مبيدات الأعشاب المربحة؛ إذ تصل كمية مبيدات الأعشاب السامة المرشوشة على المزارع الأمريكية فقط إلى نحو 600 مليون رطل سنوياً، يُرش معظمها على محاصيل الذرة والقطن وفول الصويا. وتحقق شركات المواد الكيميائية أكثر من 4 مليارات دولار سنوياً من مبيعات المبيدات العشبية في الولايات المتحدة الأمريكية فقط.

ومن أجل أن تزيد حصتها في السوق العالمية للمبيدات العشبية، طورت شركات علوم الحياة محاصيل مهجنة مقاومة لمبيداتها العشبية. والمقصود من وراء ذلك أن تبيع للمزارعين بذوراً مسجلة باسمها، مقاومة لأنواع معينة من المبيدات العشبية بهدف زيادة حصتها في أسواق البذور والمبيدات العشبية معاً. وعلى سبيل المثال، فإن البذور التي طورتها شركة مونسانتو والمسجلة باسمها مقاومةٌ لمبيدها العشبي الكيميائي الأكثر مبيعاً وهو المسمى (Roundup).

وتأمل شركات المواد الكيميائية أن تقنع المزارعين بأن المحاصيل الجديدة المقاومة للمبيدات العشبية ستساعد في القضاء على الأعشاب الضارة بطريقة فعالة؛ إذ سيتمكن المزارعون من رش المبيدات في أي وقت من الموسم الزراعي؛ بحيث يتم القضاء على الأعشاب الضارة، ولكن من دون الإضرار بالمحاصيل نفسها. على صعيد آخر، يحذر بعض النقاد من أن المحاصيل المقاومة للمبيدات العشبية ستشجع المزارعين على الأرجح على رش كميات كبرى من المبيدات العشبية للقضاء على الأعشاب الضارة، وذلك بعد أن

اطمأنوا إلى أنهم لن يضروا محاصيلهم في شيء. من ناحية أخرى نجد أن استخدام المبيدات العشبية على نطاق أوسع قد يزيد احتمال أن تطور الأعشاب الضارة نفسها نوعاً من المقاومة، وحينئذٍ سيتعين على المزارعين أن يرشوا كميات كبرى من المبيدات العشبية للقضاء على السلالات الأكثر مقاومة.

كما يشكل الجيل الجديد من المحاصيل المهجنة المقاومة للفيروسات خطراً مماثلاً؛ لأنه يحتمل أن تؤدي في نهاية المطاف إلى ظهور أنواع من الفيروسات لم نعرفها من قبل في الطبيعة. وهناك مخاوف معلنة الآن بين العلماء وفي الأدبيات العلمية من احتمال أن تتأشب جينات الغلاف البروتيني مع جينات في فيروسات ذات صلة تجد طريقها بطريقة طبيعية إلى النباتات المهجنة، وهذا قد يخلق فيروساً متأشباً ذا سمات غير مألوفة. ويشعر العلماء بالقلق من احتمال ظهور فيروسات جديدة، وهو ما يثير أيضاً شكوكاً جديةً حول سلامة زراعة محاصيل مهجنة مقاومة للفيروسات وفعاليتها في بيئة مفتوحة.

ويحذر عدد متزايد من الخبراء الإيكولوجيين من أن الخطر الأعظم إنما يكمن فيما يسمونه "تدفق الجينات"، أي انتقال الجينات المهجنة من المحاصيل إلى الأعشاب الضارة ذات الصلة من خلال ما يُعرف بالتلقيح المتداخل. ويشعر الباحثون بالقلق من أن تَفِرَّ الجينات المهجنة المقاومة لمبيدات الآفات والمبيدات الفيروسية والحشرية – من خلال التلقيح المتداخل – وأن تجدَ طريقها إلى التركيبة الجينومية للأعشاب الضارة ذات الصلة بها، وهذا سيخلق أعشاباً ضارةً مقاومةً لكل مبيدات الآفات والمبيدات الفيروسية والحشرية. وقد تفجرت المخاوف من احتمال انتقال الجينات المهجنة إلى الأعشاب الضارة ذات الصلة بها عام 1996 عندما لاحظ فريق علمي دانمركي – يعمل تحت رعاية وزارة التقنية والعلوم البيئية الدانمركية – انتقال جينة مهجنة من محصول مهجن إلى التركيبة الجينومية لعشبة ضارة ذات صلة. وقد حذر منتقدو تجارب إطلاق الكائنات المهندسة جينياً من هذا "التدفق الجيني" على مدى أعوام، غير أن شركات التقنية الحيوية قد رفضت انتقاداتها لأنها ترى أن هذا احتمال بعيد بل غير موجود في الأصل.

وتتوقع شركات علوم الحياة العابرة للحدود أنه في غضون فترة من عشرة أعوام إلى خمسة عشر ستكون كل المحاصيل الرئيسية المزروعة حول العالم مهندسة جينياً بحيث تضم جينات مقاومة لمبيدات الآفات ومبيدات الفيروسات والمبيدات الجرثومية والفطرية،

علاوةً على جينات مقاومة للظروف البيئية القاسية. وستتحول ملايين الفدانات من الأراضي الزراعية والغابات التجارية إلى حقل ضخم للتجارب الجينية سيقوم العلماء فيه بإعادة تشكيل عالمنا البيولوجي. أما مؤيدو هذه التقنيات الناشئة فيلوحون بما لديهم من تقنية تأشيب الجينات - وإن افتقروا إلى أي معلومات حول التأثيرات المحتملة - وهم يقتحمون عالم التقنية الحيوية الزراعية، يطمحون إلى المكاسب المحتملة وكلهم ثقة من أن المخاطر ستبقى محدودة أو غير موجودة في الأصل. قد يكونون على حق. ولكن، ما الذي قد يحدث لو أنهم ليسوا كذلك؟ ومن سيتحمل تبعات إطلاق كائنات في الغلاف الحيوي تحمل جينات مقاومةً لمبيدات الآفات ومبيدات الفيروسات والمبيدات الجرثومية والفطرية، علاوة على الجينات المقاومة للظروف البيئية القاسية؟

إن إطلاق كائنات غير معروفة من قبل ومهندسة جينياً يثير أيضاً عدداً من القضايا الصحية الخطيرة التي لما نجد حلاً لها بعد. ويبدو أن الأطباء وجمعيات حماية المستهلكين أكثر قلقاً بشأن الحساسية المحتملة التي قد تثيرها الأطعمة المهندسة جينياً. وفي عام 1992 أعلنت هيئة الغذاء والدواء الأمريكية أنه من غير الضروري إضافة ملصقات خاصة على الأطعمة المعدلة وراثياً، فأثار ذلك احتجاجاً واسعاً بين أشهر الطهاة في الولايات المتحدة الأمريكية، علاوةً على تجار الجملة والتجزئة في قطاع الأغذية.[1]

ومادام 2٪ من البالغين و8٪ من الأطفال مصابين بالحساسية من الأغذية الشائعة، فإن المدافعين عن حقوق المستهلكين يدعون إلى وضع ملصقات خاصة ملائمة على كل الأطعمة المعدلة وراثياً بشكل يجنب المستهلكين أي مخاطر صحية. وقد وصلت مخاوفهم إلى ذروتها عام 1996 عندما نشرت دورية **نيو إنجلند جورنال أوف ميديسن** (*New England Journal of Medicine*) دراسةً أظهرت أن فول الصويا المعدل جينياً يضم جينةً مستمدةً من جُوز البرازيل (وهو جوز مأخوذ من شجرة برازيلية) وأنه قد يثير حساسيةً عند أولئك المصابين بالحساسية من المكسرات عموماً.[2] ولم تكن هذه الأخبار سارةً على الإطلاق بالنسبة إلى شركة بيونير هاي ـ برد إنترناشيونال (Pioneer Hi-Bred International) - ومقرها في أيوا بالولايات المتحدة الأمريكية - التي كانت تأمل أن تسوق الصويا المهندسة جينياً. وبرغم أن هيئة الغذاء والدواء الأمريكية قالت: إنها ستطلب وضع

ملصقات على أي أطعمة معدلة وراثياً تضم جينات من كائنات تثير الحساسية في الأصل، فإنها لم تطلب وضع ملصقات خاصة على الأطعمة المعدلة وراثياً كافة. وتساءل محررو دورية نيو إنجلند جورنال أوف ميديسن عن الحماية المتوافرة للمستهلكين من الجينات المأخوذة من كائنات لم تكن في السابق جزءاً من غذائنا وقد تكون مثيرةً للحساسية. وعبر محررو المجلة في الدراسة المذكورة عن قلقهم من تجاهل هيئة الغذاء والدواء الأمريكية للصحة البشرية، قائلين إن سياسة الهيئة المذكورة على ما يبدو «وقفت إلى جانب الصناعة من دون أن تراعي حماية المستهلكين».

وقد رفض معظم علماء علم الأحياء الجزيئي وصناعة التقنية الحيوية عامة الانتقادات المتنامية التي وجهها الخبراء الإيكولوجيون بعد أن ألمحت دراساتهم الأخيرة إلى أن ثورة التقنية الحيوية ستؤدي إلى انتشار التلوث الجيني أولاً وفقداننا للتنوع الجيني على نطاق واسع ثانياً. غير أن القضايا التي يثيرها الخبراء الإيكولوجيون وغيرهم لم تَعُد أمراً بسيطاً يمكن تجاوزه ولا يمكن أن نعدها تذمراً من قلة ساخطة فحسب، فهم يثيرون قضايا خطيرة، منها: انتشار "الأعشاب الضارة الفائقة"، وفقدان السيطرة عليها، وتعزيز الصفات المقاومة في البكتيريا و"الحشرات الخارقة"، وظهور فيروسات غير معروفة من قبل، وتقويض المنظومة البيئية برمتها، وتلوث الأطعمة جينياً، وتآكل الجميعة الجينية على كوكبنا. إن تجاهل هذه القضايا الخطيرة يعني حتماً وضع المنظومة البيئة، بل الحضارة الإنسانية، على المحك في الأعوام المقبلة. وقد يشكل الطاعون والمجاعة وانتشار أمراض لم نعرفها من قبل المشهد الأخير في تراجيديا قرن التقنية الحيوية التي نكتب فصولها الآن.

حضارة مُحَسِّنة للنسل

عندما كتب ألدوس هكسلي (Aldous Huxley) روايته الشهيرة عالم جديد شجاع (*Brave New World*)عام 1932 لم يخطر بباله أو بال معاصريه أنه مع نهاية القرن العشرين ستتحقق نبوءته بقيام حضارة مُحسِّنة للنسل بفضل الإنجازات العلمية والمعرفة التقنية المتقدمة.[3] وقد أضحى احتمال أن يُخَلِّق العلماء رجلاً مُحَسَّناً أو امرأة مُحَسَّنةً غير بعيد في ظل الإنجازات الباهرة في مجال التقنية الجينية.

وفي الأعوام العشرة المقبلة يعتقد علماء علم الأحياء الجزيئي أنه سيكون بإمكانهم أن يحددوا جينات معينة مُسبِّبة بشكل أو بآخر آلاف العلل المرضية الجينية. وفي الماضي، كانت السيرة الجينية لأحد الأبوين تعيننا في تفسير بعض الصفات الموروثة، غير أننا كنا غير متيقنين تماماً من تحديد الصفات الجينية التي ستنتقل من الأبوين إلى الأبناء. وأما في المستقبل، فلن ننطلقَ من اجتهادات متفاوتة بل من قواعد علمية ثابتة تحدد الصفات الموروثة، وهذا سيشكل معضلة أخلاقية للأبوين المحتملين. وسيكون متاحاً للزوجين المحتملين أن يطلعا على قراءة دقيقة إلى حد بعيد لتركيبتها الوراثية، وهذا سيمكنهما – أيضاً – من التنبؤ بالاحتمالات الإحصائية لعلة جينية معينة، واحتمال انتقالها إلى أبنائهما إثر قرانهما.

ولتجنب المحنة العاطفية المرتبطة بمثل هذه القرارات المصيرية، من المرجَّح أن يعمد بعض المقبلين على الزواج إلى تجنب الاقتران بطرف ذي "بصمة وراثية" ذات علة ما؛ خشية انتقال الأمراض الجينية الخطيرة إلى أبنائهم. وقد نظم بعض أبناء الجالية اليهودية الأرثوذكسية في الولايات المتحدة الأمريكية حملة تهدف إلى إجراء اختبارات مسحية للشبان والشابات اليهوديات لرصد داء تي ـ ساكس* (Tay-Sachs disease). ويشجع منظمو الحملة كل شاب وشابة يهوديين إلى إجراء الاختبار. وتُعرض نتائج هذه الاختبارات بطريقة ميسرة بحيث يتمكن كل شاب أو شابة من اختيار رفيق حياته الآخر مع أخذ البصمة الوراثية في الحسبان.

وإذا كانت الاختبارات المسحية الجينية شائعة اليوم، فإن الهندسة الجينية البشرية، والمعُالجة الجينية، على وشك أن تصبح أمراً شائعاً. وتنقسم التدخلات الجينية إلى قسمين: أولهما المعالجة الجسدية حيث تحدث التغيرات في الخلايا الجسدية تحديداً، علماً بأن هذه التغيرات لا تنتقل إلى الأبناء. وثانيهما معالجة الخط الجرثومي حيث تحدث التغيرات الجينية في المنيِّ أو البويضة أو الخلايا الجنينية، علماً بأن هذه التغيرات تنتقل إلى الأبناء. وقد تمت الجراحة الجينية الجسدية في تجارب مخبرية بشرية محدودة على مدى أكثر من سبعة أعوام. كما أن تجارب الخط الجرثومي على الثدييات على مدى أكثر من عشرة أعوام نجحت، ويتوقع الباحثون أن تتم أولى التجارب البشرية خلال الأعوام القليلة المقبلة.

---

* وهي علّةٌ جينية مميتة تصيب الأطفال وتؤدي إلى تدمير الجهاز العصبي المركزي، وقد سُمِّيت بهذا الاسم نسبة إلى طبيب العيون البريطاني وارن تي (Warren Tay) وطبيب الأعصاب الأمريكي برنارد ساكس (Bernard Sachs). (المترجم)

وتحدث برمجة تغييرات جينية في الخط الجرثومي البشري - بهدف توجيه التطور النشوئي للأجيال المقبلة - ثورةً غير مسبوقة في التجارب البشرية، وهي تثير مخاطر أخلاقية واجتماعية وبيئية غير معهودة للبشرية جمعاء. وبرغم هذا كله، يسعى عدد متزايد من علماء الأحياء الجزيئي والأطباء والشركات الدوائية للدخول في هذه المغامرة، أو المقامرة، وهم على قناعةٍ تامةٍ بأن التحكم بالعملية النشوئية البشرية سيمثل غاية مسعانا في المستقبل القريب. وهم يدافعون عن مساعيهم من منطلقات الصحة الشخصية، وحرية الاختيار الفردية، والمسؤولية الجماعية إزاء الأجيال المقبلة.

وفي دراسة للدكتور بيركي تسيمرمان (Burke Zimmerman) نُشرت في مجلة **جورنال أوف ميديسن آند فيلوسوفي** (*Journal of Medicine and Philosophy*) أثار نقاطاً عدة دفاعاً عن معالجة الخط الجرثومي مقارنةً مع معالجة الخلية الجسدية. فهو يرى، أولاً، أنه من المرجح أن يؤدي اعتماد معالجة الخلية الجسدية على نطاق واسع إلى نجاة عدد متزايد من المصابين بجينات معيبة في خط الخلية فحسب، بينما ستظل الجينات تتراكم "مُلوثةً" الجميعة الجينية للجنس البشري، من دون أن نسمح بانتقال مشكلات جينية متزايدة إلى الأجيال المقبلة. وثانياً، ما دامت معالجة الخلية الجسدية يمكن أن تكون فعالة في معالجة الكثير من الاضطرابات من خلال استبدال تكتلات خلوية، فإنها ربما لا تكون فعالةً أبداً في معالجة الأمراض المرتبطة بأنسجة أو أعضاء أو وظائف عضوية (من أمثلة ذلك الدماغ)؛ ولذا من المرجح أن تكون معالجة الخط الجرثومي العلاج الناجع الوحيد - لو استبعدنا الإجهاض - لبعض العلل والاضطرابات.[4]

ويدعو تسيمرمان وغيره من مناصري معالجة الخط الجرثومي إلى توسيع حدود الصلاحيات الأخلاقية الطبية لتشمل المسؤولية عن صحة ما قبل الحَمل. وهم يرون أن مفهوم مصلحة المريض يجب أن يتم توسيعه ليشمل "التركة الجينية الكاملة التي ربما تنجم عن التدخل في الخط الجرثومي". وعلاوةً على ذلك، يجب ألا يحرم الأبوان من حقهما في اختيار أفضل السبل لحماية صحة أبنائهما في أثناء الحمل. وقد يكون خرقاً للمسؤولية الطبية أن نحرم الأبوين من فرصة إجراء تغييرات تقويمية في الخلايا التناسلية أو في مرحلة جنينية مبكرة. ويتساءل مؤيدو معالجة الخط الجرثومي عن جدوى أن يتعرض ملايين البشر لمعالجة الخلية الجسدية المؤلمة والمحفوفة بالمخاطر عندما يكون في استطاعتنا بسهولة

أن نقصي الجينة أو الجينات المسؤولة عن بعض الأمراض من الخط الجرثومي، بتكلفة أدنى ومعاناة أقل.

وأخيراً، يقول مناصرو معالجة خط الخلية: لابد من تضمين تكلفة الصحة العامة في المعادلة التي نحن بصددها؛ فبرغم أن تكلفة التدخلات الجينية في الخط الجرثومي ستبقى مرتفعة في الأعوام الأولى، فإنه من المرجح أن تنخفض انخفاضاً كبيراً لاحقاً مع تقدم التقنيات والإجراءات ذات الصلة بذلك. ومن المرجَّح أن تبقى تكلفة رعاية أجيال متلاحقة تعاني داء باركنسون أو متلازمة داون (ما يُعرف بالمنغولية) أعلى بدرجات من تكلفة إجراء تغيير جيني على مستوى خط الخلية.

وفي العقود المقبلة سيعرف العلماء أكثر فأكثر الجينات ووظائفها، بل سيكونون أكثر خبرة في "تشغيلها" أو "تعطيلها". كما أنهم سيكونون أكثر تقدماً في تقنيات تأشيب الجينات وتعديل الشفرة الجينية. ولابد من اتخاذ قرارات واعية ومسؤولة بين حين وآخر بشأن التغييرات الدائمة التي يمكن إجراؤها في الشفرة البيولوجية البشرية وتلك التي يجب إغفالها. فحضارتنا ومجتمعنا المنغمسان في "هندسة" الجميعة الجينية في كوكبنا لابد أن يواجهها قرارات مصيرية خاصة بتحسين النسل البشري مع كل إنجاز نحققه في مجال التقنية الحيوية. وسنواجه ضغطاً اجتماعياً واسعاً للالتزام بمنطق الهندسة الجينية، خاصة فيما يتعلق بتطبيقاتها البشرية.

وسيجد الأبوان في قرن التقنية الحيوية أنهما مُجبران على اتخاذ قرارات مصيرية، فإما أن يستخدما المني الذكري والبويضة الأنثوية على حالهما من دون أي تعديل فيهما، أي أن يتبعا الطريقة التناسلية التقليدية بكل مخاطرها، بما في ذلك انتقال الصفات "غير المرغوب فيها" إلى أبنائهما؛ وإما أن يجريا تغييرات جينية تقويمية على المني الذكري والبويضة الأنثوية، وربما لاحقاً على الأجنة المُخَلَّقة والأجنة غير المُخَلَّقة؛ وإما أن يحصلا على مني ذكري وبويضة أنثوية من متبرعين على أن تتم عملية إخصاب مخبرية ثُمَّ تزرع البويضة المُخصَّبة في رحم امرأة مُستأجرة. وإذا ما اختارا الطريقة التقليدية وتركا لعلم الوراثة أن يحدد مُستقبل أبنائهما، فإنهما سيشعران بالذنب لو أن مكروهاً أصاب جنينهما المُخَلَّق، وأيقنا أنه كان بإمكانهما أن يُجنباه ذلك لو أنهما سمحا بتدخلات جينية تقويمية في مرحلة ما قبل التخليق، أو ربما قبل ذلك.

ويقول مناصرو الهندسة الجينية البشرية: إنه من غير المسؤولية أو غير الإنسانية ألا نستغل هذه التقنية الفائقة والقوية في الحد من "العلل الجينية" الخطيرة. وعلى حد تعبير صحيفة **نيويورك تايمز** (*New York Times*) في افتتاحية لها نشرتها تحت عُنوان "أنخلّق بشراً يتصفون بالكمال؟" فإن المشكلة تكمن في «عدم وجود حدود واضحة للعيان بين تقويم العيوب الجينية الموروثة والسعي لتحسين الجنس البشري». وقد أحسنت صحيفة **تايمز** (*Times*) التعبير حين قالت في السياق نفسه: عندما ينتهي العلماء من تقويم العيوب الجينية فإنه «سيكون من الصَّعب جداً أن نقنعهم بالعدول عن إجراء تعديلات جينية إضافية يمكن أن تعطي أبناءنا سمات مرغوباً فيها، كأن يكونوا أكثر صحة أو فطنة أو أحسن شكلاً». [5]

فإذا استطعنا أن نتجنب الإصابة بداء السكري أو الأنيميا المِنْجَليَّة أو السرطان من خلال إجراء تغييرات في البنية الجينية للأفراد، فَلِمَ لا نمضي قُدماً ونعالج "عيوباً" أقل خطورة، مثل: قِصَر البَصَر، وعمى الألوان، وعُسْر القراءة، والبدانة، أو حتَّى العَسَر (استخدام اليد اليُسرى في الكتابة وغيرها)؟ فما الذي سيمنع المجتمع في حقيقة الأمر من أن يقرِّر أن لوناً مُعيناً للجلد يُعد أمراً مرغوباً فيه أو غير مرغوب فيه؟ وفي النهاية، لِمَ عسانا أن نرفض أي تعديل في الشفرة الجينية يمكن أن يحسن أحوال أبنائنا؟ بل سيكون من الصعب أن نتخيل أبوين يرفضان أي تعديلات جينية من شأنها أن تحسن أحوال ذريتهما.

وينفق الأمريكيون مليارات الدولارات سنوياً على الجراحة التجميلية لتحسين مظهرهم وعلى العقاقير النفسية لتحسين أمزجتهم وسلوكهم؛ وهذا يجعلنا نرجح أن ينفق الأمريكيون مبالغ مماثلة مقابل المعالجة الجينية الرامية إلى تحسين نسلهم في الأرحام. ووفقاً لاستطلاع هاريس (Harris) للرأي فإن 43٪ من الأمريكيين «سيوافقون على استخدام المعالجة الجينية لتحسين الصفات الجسدية لأطفالهم». ويدافع الكثير من مؤيدي معالجة خط الخلية عن المعالجة التحسينية. وهم مقتنعون تماماً بأن اعتماد المناقشات الراهنة حول إجراءات تقويمية لمعالجة أمراض خطيرة مازال محدوداً، داعين إلى إجراء مناقشات أوسع نطاقاً تغطي الإجراءات أو المعالجات التحسينية. والنقد الذي طالما سمعناه من مُعارضي المعالجة الجينية التحسينية أنها ستكون في مصلحة أطفال الأغنياء على حساب أطفال الفقراء، لأن الأثرياء وحدهم سيكون في وسعهم أن يتحملوا نفقات هذه المعالجة. وأما

مؤيدو المعالجة الجينية التحسينية فيرون أن أطفال الأغنياء طالما تمتعوا بالثروة، أو لعلهم قد ورثوها بالفعل. ويتابع هؤلاء حججهم المنمقة بقولهم: إنه سيكون إنجازاً بحق أن يتمكن الأغنياء من أن يورثوا أبناءهم سمات جينية حميدة، وألا يُقصر الإرث على الثروة فحسب. ويطلب إلينا مناصرو هذه التقنية أن نفكر في الآثار الإيجابية للمعالجة التحسينية للخط الجرثومي، وإن كانت في مصلحة أطفال الأغنياء حصراً. ويتساءل تسيرمان قائلاً: «ما قولكم...في زيادة عدد الموهوبين؟ أليس ذلك في مصلحة المجتمع في المدى البعيد؟».

وعلى حين يبدو مفهوم خيارات الفرد أمراً مقبولاً، فإن فكرة القضاء على ما يُسمى بالعيوب الجينية تثير تساؤلات عويصة بشأن ما نعنيه حقاً بكلمة "عيوب". يصل بنا خبير الأخلاقيات الطبية دانيال كالاهان (Daniel Callahan) من مركز هاستينغز (Hastings Center) إلى لبِّ القضية حين يقول: «يكمن وراء فزعنا - نحن بني البشر - من العيوب الجينية ... صورة الكائن البشري الكامل. ونحن نفترض عندما نستخدم مفردات مثل "علة" أو "عيب" أو "مرض" أو "مخاطرة" مثل هذه الصورة، وهي صورة أولية للكمال».

وعندما يتحدث علماء علم الأحياء الجزيئي عن الطَفْرة أو الأمراض الجينية على أساس أنها تمثل خطأً في الشفرة الجينية، فإنهم يفترضون تلميحاً، بل تصريحاً أحياناً، أنه كان من المفترض ألا تقع مثل هذه الأخطاء منذ البداية، وأنها "عِلَّة" أو أخطاء لابد من تقويمها أو إعادة برمجتها. وعندئذ يصبح عالم علم الأحياء الجزيئي مهندساً مختصاً في الحوسبة، ومؤلِّفاً مختصاً في الشفرة، يسعى للقضاء على الأخطاء ويعكف على إعادة برمجة البنية الجينية ليطور البرمجة الجينية وأداء بني البشر في آن واحد. ولنا أن نَعُدَّ ذلك دوراً مريباً وخطيراً خاصةً إذا ما أخذنا في الحسبان أن كل واحد منا يحمل عدداً من الجينات المُتَنَحِّية القاتلة. فهل لنا أن نتصور أنفسنا كائنات وقع "خطأ ما" في برمجتها منذ البداية، أو كائنات تحيرها أخطاء في شفرتها الجينية؟ وإذا كان الوضع كذلك، فما معايير الكمال التي سنعتمدها؟ وإذا كان كل واحد منا يعاني علةً جينية أو خطأً جينياً ما، فإننا سنبحث عبثاً عن معايير الكمال. ويخلق علم الأحياء الجزيئي شيئاً من الخوف في نفوسنا، لأنه سيخطو بنا نحو مغامرة لا نعرف تبعاتها ترمي إلى تخليق نمط أولي بشري لم نألفه من قبل، وهو النمط الذي يتصف بالكمال ويخلو من العلل والأخطاء، وهو النمط الذي سنطمح إليه جميعاً، ذكوراً وإناثاً. هو نمطٌ

يشبهنا، غير أنه يخلو من النتوءات والتجاعيد وغيرها، وهو لا يعرف ضعفاً أو وهناً، تلك الصفات التي شكلت جزءاً من جوهرنا منذ بدء الخليقة.

اللياقة الجينية

صدر فيضٌ من الدراسات العلمية الجديدة حول المنطلقات الجينية للسلوك البشري كما أن علم الأحياء الاجتماعي (sociobiology) يؤكد دور الطبيعة على التنشئة، وهما معاً يقيمان سياقاً ثقافياً لقبول التقنيات الحيوية الناشئة على نطاق واسع. ويربط العلماء الآن بين عدد متزايد من الأمراض العقلية والاضطرابات الجينية. بل إن بعض العلماء قد بدؤوا يلمحون إلى السلوكيات غير الاجتماعية المختلفة؛ مثل الحياء، وبغض الآخرين، والإجرامية، التي قد يكون مردُّها إلى جينات قاصرة أو غير سوية. وقد توصل مركز مينيسوتا لدراسات "التوأمة" والتبني إلى أن الوراثة تؤدي دوراً حاسماً في عدد من الصفات الشخصية الموروثة الشائعة. بل ذهب المركز أبعد من ذلك حين نشر دراسات تقدِّر دور الوراثة في بعض الصفات الشخصية، فوجد مثلاً أن الوراثة تشكل 55٪ من النزعة إلى القلق، و55٪ من الإبداعية، و60٪ من النزعة إلى التكيف مع أوضاع مغايرة، و48٪ من العدوانية، و61٪ من الانفتاح على الآخرين. بل ذهب علماء الأحياء الاجتماعي أبعد من ذلك كله حين قالوا: إن الأنشطة البشرية برمتها تتحدد، بشكل أو بآخر، بحسب تركيبتنا الوراثية، داعين من يريد أن يُغَيِّر ما هو عليه إلى أن يغير جيناته أولاً.

لقد أثَّرت الدراسات المتزايدة التي أجريت للتحقق من العلاقة الوراثية بين الشخصية والسلوك في الخطاب العام. ومن المهم أن نتذكر أنه منذ نهاية الحرب العالمية الثانية حتى ثمانينيات القرن العشرين كان علماء الاجتماع يعتقدون أن إحداث تغييرات في البيئة المحيطة بنا هو السبيل الوحيدة لمعالجة الانحرافات الاجتماعية المختلفة. وكانت الحكمة السائدة أن التربية، لا الطبيعة، هي التي تحدد سلوكنا، أما الآن فيبدو أن الدول الصناعية المثقلة بالأزمات الاجتماعية العميقة لم تعد قادرةً على إحداث تغييرات مهمة بالطرائق التقليدية المتمثلة في الإصلاحات المؤسسية والمجتمعية. ويرى علماء علم الأحياء الاجتماعي ومن يؤمن بنظرياتهم ومقولاتهم أن محاولة قلب المنظومة الاجتماعية والاقتصادية رأساً على عقب قد تخفف وطأة الأزمات الاجتماعية إلى حين، بل قد تذهب

هدراً. وهم يرون أن السبيل إلى معظم الإصلاحات السلوكية الاجتماعية والاقتصادية إنما تنطلق من الجينات. وهم يرون - أيضاً - أنه من أجل تغيير المجتمع علينا أولاً أن نقبل تغيير جيناتنا لأنها المسؤولة الأولى عن السلوكيات الفردية والجماعية، وإن كان للظروف المجتمعية دور محدود.

غير أن هناك أصواتاً قليلة بين علماء الأحياء تحذر المندفعين من زملائهم من أنهم يعبثون بعلم الجينات، وأنهم بذلك يعطون مسوغاً لأجندة سياسية خطيرة محتملة. وفي هذا السياق، يقول جوناثان بيكويث (Jonathan Beckwith) أستاذ علم الأحياء المجهري وعلم الوراثة في جامعة هارفارد - وهو يُعدُّ من رواد علم الأحياء الجزيئي - إن علينا أن نقدم طرحاً عاماً أكثر توازناً للعلاقة بين الوراثة والعوامل المجتمعية أو المحيطة؛ خشيةَ أن يصبح العلم الجديد معبراً لسياسة مبنية على الأجناس المحسنة. ويضيف بيكويث قائلاً: إن عدداً كبيراً من الأمراض، كالسرطان والاكتئاب، إنما هو نتيجة تفاعلات دقيقة وغير دقيقة بين النزعة أو القابلية الجينية والمؤثرات البيئية، وإذا ما أهملنا هذه العلاقة وركزنا اهتمامنا على الجينات فقط فإن ذلك سيصبح بمنزلة التخلي عن الاستراتيجية التقويمية المبنية على فكرة إصلاح المجتمع وتعزيز النزعة المعتدلة فيه. والمضامين السياسية لكل ذلك مهمة:

> قد يجعلنا التركيز على الجينات فحسب وتحميلها مسؤولية الأمراض والمشكلات الاجتماعية نغفل السبل الأخرى المتاحة لمعالجة هذه المشكلات...إن التفسيرات الوراثية للذكاء وفروق الأدوار الجنسية والعدوانية قد تقودنا إلى إعفاء المجتمع من أي مسؤولية حتى لو كان مجحفاً، وهذا قد يقدم دعماً لأولئك الذين من مصلحتهم بقاء الظلم على حاله.[6]

وبرغم حقيقة أن الدراسات التجريبية الأخيرة قد زعزعت الافتراضات الداعية إلى ردِّ العلل على اختلافها إلى أسباب جينية، فإن فكرة "الجزيء المهيمن" الذي يسيطر على أقدارنا البيولوجية قد صبت في مصلحة علماء الأحياء الجزيئي والكثير من الشركات التجارية المتخصصة في التقنية الحيوية، بل إن هذه الفكرة قد ازدادت زخماً، في وسائل الإعلام والخطابات العامة، ورأى بعض العلماء أنها تفسر تطور الشخصية، وسلوك المراهقين، والفروق الإثنية والعرقية، والسلوكيات الجماعية، بل ما يتعلق بالثقافة والتجارة والسياسة.

إن المعلومات الجينية نفسها عامة يمكن أن تستغلها المدارس وأرباب العمل وشركات التأمين والحكومات في تحديد المسيرة التعليمية، وفرص التوظيف، وأقساط التأمين، وبراءات الذمة الأمنية على التوالي، فيمهد هذا إلى ظهور شكل من التمييز ذي طبيعة خبيثة حيث إنه مبني على "القراءة الجينية" للفرد، بل يذهب بعض خبراء الهندسة الجينية أبعد من ذلك حين يتصورون أن جزءاً من البشر سيبلغون حد "الكمال" بعد إخضاعهم للهندسة الجينية، بينما سيظل الآخرون على حالهم ليذكرونا بالتصميم القديم لبني البشر. ويتحدث عالم علم الأحياء الجزيئي لي سيلفر (Lee Silver) من جامعة برنستون حول مستقبل ليس بالبعيد تسود فيه طبقتان بيولوجيتان مختلفتان تماماً، هُما الطبقة "المعززة جينياً" والطبقة "الطبيعية". فأما الطبقة "المعزَّزة جينياً"، والتي تمثل نحو 10٪ من السكان، فقد خضعت لعمليات جينية تعزيزية جعلتها تحكم المجتمع. وتشمل هذه الطبقة رجال الأعمال والموسيقيين والفنانين والمفكرين والرياضيين، وقد خضع كل منهم لعملية تعزيزية خاصة تجعله يحقق نجاحاً باهراً ربما لا يتخيله أبناء الطبقة "الطبيعية".

واليوم، ربما لا تكون السلطة المهيمنة النهائية بعيدة المنال، فهي تتمثل في القدرة على السيطرة على حياة الأجيال غير المولودين بعد، على المستوى الجيني، من خلال هندسة حياتهم البيولوجية مقدماً، وجعلهم رهينة "جزئية" لبصمة وراثية مهندسة. لقد استخدمت كلمة "جزئية" لأنني أؤمن – مثل كثيرين آخرين – بأن للبيئة المحيطة دوراً مهماً في تحديد مسار حياتنا. وصحيحٌ أيضاً أن البنية الجينية لها دورها في صوغ أقدارنا، لكن الهندسة الجينية – كذلك – تمثل قوةً إبداعية أو تخليقية، وإن كانت "محدودة". إن قدرتنا على هندسة تغييرات بسيطة في الصفات الجسدية أو السلوكية لأجيال المستقبل تمثل حقبةً جديدةً في تاريخ البشرية التي لم تَحْلُم يوماً بأن شيئاً كهذا ممكن بالفعل.

وتثير الهندسة الجينية البشرية شبحاً مخيفاً لمستقبل أبعد ما يكون عن المثالية؛ حيث ستزيد الهوة بين من يملكون ومن لا يملكون، ولكن هذه المرة من الناحية الجينية لا المادية؛ حيث سيسود التمييز الجيني على نطاق واسع، وربما وجدنا أن مفاهيم الديمقراطية والمساواة ستزول؛ ليحل محلها مفهوم "حكم الطبقة ذات الأفضلية الجينية" المبنية على "الأهلية الجينية" فقط.

وجهة نظر شخصية

لقد عبرت مرة تلو الأخرى طوال ربع قرن مضى عن مخاوفي المتزايدة من جوانب عدة من ثورة التقنية الحيوية الناشئة، حتى إن الكثير من العلماء ومن العامة تساءل عما إذا كنت في الحقيقة ضد العلم والتقنيات الجديدة. القضية هنا ليست إذا ما كنتُ مع العلم والتقنية أو أنني ضدهما في المطلق، بل القضية أنني لا أؤيد أبعاداً معينةً من العلم والتقنية.

لقد اعتدنا أن نفكر في العلم بطريقة تجريبية بيكونية - نسبة إلى فرانسيس بيكون (Francis Bacon) رائد العلم التجريبي الحديث - صرف، حتى إننا لم نَعُد نرى السبل الأخرى لتطويع الطبيعة وسبر أغوار أسرارها. لقد عدَّ بيكون الطبيعةَ "امرأة مشاعاً" وحثَّ أجيال المستقبل على أن "تروِّضها" و"تُشَكِّلها" و"تضغطها"؛ ليكون "الإنسان" سيِّدها وسيِّداً للعالم المادي لا ينازعه في ذلك أحد. ويُعد الكثير من أبرز علماء علم الأحياء الجزيئي اليومَ ورثة العقيدة البيكونية. فهم ينظرون إلى العالم من زاوية محدودةٍ، ويرون أنهم مهندسون عظماء، عليهم أن يعكفوا على تعديل البنية الجينية الحياتية وتأشيبها وإعادة برمجتها، ليخَلِّقوا كائنات مطاوعة وفاعلة ومفيدة أكثر من ذي قبل لما في ذلك من مصلحة البشرية جمعاء. وهم يفضلون في تجاربهم العزلة على الدَّمج، والانفصال على الاتحاد، وممارسة القوة التطبيقية على الرعاية والتنشئة.

غير أن هناك آخرين في مجال علم الأحياء، ممن لا يقلون صرامةً عن سابقيهم، لكنهم يتبنون منهجية تكاملية ونظاميةً إزاء الطبيعة. وتنظر العلوم الإيكولوجية، التي تزداد أهميةً ومكانةً يوماً بعد آخر، إلى الطبيعة على أنها شبكة مُحكمة وضخمة من العلاقات التكافلية والاعتمادات المتبادلة، وهي مُتضمنة في مجتمعات حيوية أوسع نطاقاً تشكل معاً كائناً حياً واحداً، هو الغلاف الحيوي. ويفضل الإيكولوجيون تدخلاً أكثر دقة على أن تكون غايته تعزيز العلاقات القائمة لا تدميرها، مع الأخذ في الحسبان المحافظة على التنوع الإيكولوجي والمحافظة على الصلات القائمة.

وتؤدي هذه المنهجيات المختلفة إزاء العلوم الأحيائية أو البيولوجية إلى ممارسات متفاوتة تماماً. ففي الزراعة - مثلاً - يجري علماء علم الأحياء الجزيئي تجاربَ لإقحام

جينات في الشفرة البيولوجية للمحاصيل الغذائية؛ بهدف جعلها مغذية أكثر من ذي قبل وأكثر مقاومةً لمبيدات الآفات، والآفات، والبكتيريا، والفطريات. وغايتهم في ذلك إقامة منظومة منيعة وآمنة ومكتفية بذاتها بعيداً عن المنظومة الحيوية الأوسع نطاقاً أولاً. ويطلع الكثير من الإيكولوجيين على البيانات الجينومية المتدفقة لفهم العلاقة بين التأثيرات البيئية والطفرات الجينية بهدف تطوير الزراعة المراعية للاعتبارات الإيكولوجية ثانياً. وهم يرمون من وراء ذلك إلى جمع الثروة المعرفية الجينية مع المعرفة المُجَمَّعة حول النظم البيئية ووظائفها، وإلى إقامة منهجية أكثر تكاملية في الزراعة، أي منهجية قائمة على إدارة الآفات بطرائق متنوعة، ودورة المحاصيل، والمخصبات العضوية، والمناهج المستدامة الأخرى المصممة لجعل الإنتاج الزراعي متوافقاً مع ديناميات النظم البيئية الخاصة بالمناطق التي تُزرع فيها المحاصيل.

ونرى الأمر نفسه في الطب؛ حيث يصب علماء علم الأحياء الجزيئي اهتمامهم على جراحة الجينة الجسدية، وضخ جينات معدلة في جسم المريض "لتقويم" العلل والاضطرابات وتوقف تقدم المرض. وتصب جهودهم الدؤوبة على معالجة المرضى. غير أن هناك مجموعة من الباحثين، تضم عدداً صغيراً – وإن كان متزايداً – من علماء علم الأحياء الجزيئي ممن يدرسون العلاقة بين الطفرات الجينية والمُسبِّبات البيئية، وهم يسعون من وراء ذلك للتوصل إلى منهجية متقدمة وذات طبيعة علمية للطب الوقائي. وتقول الإحصاءات إن أكثر من 70٪ من الوفيات في الولايات المتحدة الأمريكية وغيرها من الدول الصناعية مردها إلى ما يسميه الأطباء "أمراض بحبوحة العيش"، ومن أكثرها شيوعاً: الجلطة القلبية، والسكتة، وسرطانات الثدي، والقولون، والبروستات، وداء السكري. وعلى حين أن كل واحد منا لديه قابلية وراثية متفاوتة للإصابة بهذه الأمراض، فإن العوامل المحيطة، مثل: النظام الغذائي، ونمط الحياة، لها دور مهم ويمكن أن تسبب طفرة جينية. وقد أثبتت الدراسات العلمية المتتالية أن التدخين بشراهة، وتناول الكحوليات بكميات عالية، والأطعمة الغنية بالشحوم الحيوانية، والتعرض لمبيدات الآفات والمواد الكيميائية السامة الأخرى، والماء والغذاء الملوثين، والهواء الملوث، ونمط الحياة الذي يخلو من الحركة والتمرينات الرياضية، كلها تسبب طفرات جينية وتؤدي بشكل أو بآخر إلى الإصابة بالكثير من الأمراض الخطيرة.

ويوفر مشروع الجينوم البشري للباحثين معلومات مهمة جداً حول الصفات الجينية المُتَنَحِّية والنزعات أو الاستعدادات الجينية الخاصة بمجموعة من الأمراض. غير أنه لم تُجر دراسات تُذكر حتى يومنا هذا حول العلاقة بين الاستعدادات الجينية أولاً والمواد السامة الموجودة في البيئة وتأييض الأطعمة المختلفة وأنماط الحياة ثانياً، وكيف أن هذه العلاقة قد تؤدي إلى طفرات جينية وسمات ظاهرية ناجمة عن تأثيرات بيئية. وتعُدُّ "المنهجية الكُلانِيَّة" في الطب البشري جينومَ كل فرد منا جزءاً من بنية عُضوانية متضمنة، فهو يتأثر بالبيئة المحيطة به ويؤثر فيها. وتصب جهود العلماء في هذا المجال على استخدام المعلومات الجينية والبيئية المتقدمة للحؤول دون حدوث طفرات جينية. وبإيجاز، فإن الرؤية "المتشددة" تقوم على الاستفادة من العلوم الجينية الجديدة في هندسة تغييرات واسعة في البصمة الجينية، وأما الرؤية "السلسة" فتقوم على الاستفادة من العلوم الجينية الجديدة ذاتها في خلق علاقة أكثر استدامة بين الأنواع الحية الحالية وبيئاتها.

إن رؤانا المختلفة للعلم والمطروحة في هذا الفصل تنطلق من قيم إنسانية مختلفة، وإن كنت أظن أن معظم علماء علم الأحياء الجزيئي سيظلون مقتنعين بأن المنهجية التي تبنوها غير متحيزة وموضوعية وهي علمية بحق. وعلى الرغم من احتجاجاتهم، فإن ما تراه في المحصلة هو ما سعيت له، بل إن تحيز العلماء هو ما يُسيِّر أبحاثهم ودراساتهم.

ويبقى انقسام النواة وكشف الحلزونية المزدوجة للدنا أعظم إنجازين علميين في القرن العشرين؛ إذ كان الأول أعظم ما أنجزه علم الفيزياء، على حين كان الثاني أعظم ما أنجزه علم الأحياء. وتمثل تطبيقات هذين الإنجازين وتقنياتها قوةً لا تضاهيها قوة أخرى في تغيير العالمين المادي والطبيعي. أما في مجال التقنية النووية – وما يتصل به من قنبلة نووية وطاقة نووية – فقد اختارت بعض الأمم أخيراً أن تقلل إنتاجها واستخدامها أو ألا تواصلها، بعد أن اقتنعت بأن مخاطر نشرها على البيئة وعلى أجيال المستقبل تفوق أي فائدة قد تحققها. ولم تُسقَط إلا قنبلتان نوويتان على تجمعات بشرية خلال أكثر من خمسين عاماً. أما الطاقة النووية التي كانت تُعدُّ يوماً ما أعظم مصدر للطاقة في العالم، فقد تخلت عنها دول معينة، إما جزئياً أو كلياً، لأسباب بيئية ومالية.

قد يبدو الآن رفض البشرية في نهاية المطاف الهندسة الجينية أمراً مستبعداً، بل مستحيلاً، بالنسبة إلى أهم الأطراف الفاعلين في مجال الثورة التقنية ، برغم كل ما تعدنا به.

ولكن علينا أن نذكر أنفسنا بأنه منذ جيل فقط كان من المستحيل أن نتخيل أن دولاً تستغني عن الطاقة النووية التي كانت تُعدُّ ملاذاً أخيراً لمجتمعاتنا المتعطشة إلى الطاقة دوماً. ومن المحتمل أيضاً أن يقبل المجتمعُ جوانب معينة من الهندسة الجينية ويرفض بعضها الآخر في قرن التقنية الحيوية. وعلى سبيل المثال، قد نقبل الفحوصات التشخيصية الجينية وندافع عنها في حال توافر الإجراءات الاحترازية الملائمة، لأنها تساعدنا في التنبؤ بالأمراض الخطيرة، وخاصة تلك الأمراض التي يُمكن الحؤول دون الإصابة بها بالمعالجة المبكرة. كما أن تقنيات تأشيب الدنا تفتح الباب أمام جيل جديد من المنتجات الدوائية التي قد تنقذ حياة الكثيرين. ولكن استغلال المعالجة الجينية في إجراء تغييرات تقويمية في الخط الجرثومي البشري، بشكل يؤثر في خيارات أجيال المستقبل، قد يسبب - بعد ذلك - مشكلات عدة. ويماثل ذلك أيضاً إطلاق كميات من الكائنات المهجنة في الغلاف الحيوي لكوكب الأرض. وقد يقبل المجتمع بعض خيارات الهندسة الجينية غير أنه سيرفض بعضها الآخر. وعموماً، فإن التقنية النووية قد طُوِّعت بطريقة فعالة ودخلت في استخدامات غير استخداماتها الأولية كقنابل نووية أو مصدر للطاقة.

وإذا ما رفضنا - فرضاً - بعض تقنيات الهندسة الجينية فإن ذلك لا يعني بأي حال من الأحوال أنه لا يمكننا أن نستفيد من ثروة المعلومات الجينومية والبيئية المُجمَّعة في أوجه أخرى. صحيحٌ أن القرن الحادي والعشرين سيكون قرن علم الأحياء، غير أن تطبيقات المعرفة المكتسبة يمكن أن تأخذ أشكالاً مختلفة. ومن ضيق الأفق أن يقول أحدهم: إن الهندسة الجينية هي السبيل الوحيدة لتطبيق المعرفة التي حققها علم الأحياء وعلوم الحياة. وقد يبعدنا ذلك عن التفكير في الخيارات الأخرى التي قد يثبت أنها أكثر فاعلية في تلبية احتياجاتنا وتحقيق رغبات أجيالنا، حاضراً ومستقبلاً.

وعلينا أن نؤكد مراراً وتكراراً أن القضية لا تُحسم بأن نقول "نعم" أو "لا" للتقنية واستخداماتها، ولو أن الكثيرين في المؤسسة العلمية يودون أن تكون الأمور كذلك، بحيث إذا ما عارَض أحدنا رؤيتهم التقنية فإنه يكون معادياً للتقنية في عمومها. وفي هذا السياق، فإن رؤيتهم للتقنية تعكس رؤيتهم للعلم نفسه؛ إذ يتخذ هؤلاء موقفاً متشدداً قائماً على وجود "طريق حق" وحيدة نحو المستقبل.

والسؤال الذي يطرح نفسه هنا: أي التقنيات الحيوية سنختار لأنفسنا في قرن التقنية الحيوية؟ هل سنستغل - على سبيل المثال - معرفتنا بأسرار التركيبة الجينومية للحيوانات والنباتات في خلق "محاصيل فائقة" مهندسة جينياً، وتخليق حيوانات مهجنة، أو ابتكار تقنيات جديدة لتطوير الزراعة العضوية، وممارسات أكثر إنسانية في تربية الحيوانات؟ وهل سنستغل المعلومات المُجمَّعة حول الجينوم البشري في تغيير البنية الجينية أو تطوير ممارسات متطورة في الطب الوقائي؟

قد نقرِّر، في المحصلة، أن نغير أولوياتنا التقنية كلياً. أما الآن فإن تقنيات الهندسة الجينية الأكثر صعوبة هي التي نسعى لتحقيقها في تطبيقاتنا للعلوم البيولوجية. أما تطبيقات التقنية الحيوية التكاملية والمتضمنة والأكثر مراعاة لديناميات المنظومة البيئية والعلاقات المتبادلة – وهي أكثر سهولة – فتبقى هامشيةً في قرن التقنية الحيوية. ولكن، ليس صعباً أن نتخيل تغيراً في الأولويات في الأعوام المقبلة؛ بحيث يكون السبق للتقنيات الحيوية الوقائية الصحية والإيكولوجية، وليس صعباً أن نتخيل تخلينا عن بعض تقنيات الهندسة الجينية واستغلالنا لبعضها الآخر في حدود ضيقة عند الضرورة القصوى فحسب. فعند الحالات التي لا تكون فيها الممارسات الصحية الوقائية والكُلاَّنية كافيةً - مثلاً - لصد الأمراض الجينية الخطيرة أو القاتلة، يمكننا حينئذ أن نلجأ إلى جراحة الخلية الجسدية كملاذ أخير.

وعلينا أيضاً ألا نستبعد احتمالاً واقعياً؛ هو أن تقنيات الهندسة الجينية ربما لا تحقق، في نهاية المطاف، الكثير مما تَعِدُنا به الآن. إن ما يجعلنا نقول ذلك هو أن معظم علماء علم الأحياء الجزيئي مازالوا مشدودين إلى العقلية الصناعية القديمة. فهم مازالوا يحاولون أن يخضعوا العمليات الحية للمعادلات الخطية، وهم على يقين من أن بإمكانهم أن يغيروا الجينات، جينة بعد أخرى، وكأن الكائن الحي ليس إلا مجموعة من الجينات المتجمعة. فمن المرجح ألا تحقق هذه الرؤية القاصرة المتقادمة للتقنية الحيوية، التي تؤكد على التسلسلية والسببية الصارمة، نجاحاً واسعاً. وقرن التقنية الحيوية في المحصلة سيكون من نصيب من يعتمدون رؤية المنظومة، أولئك الذين ينظرون إلى علم الأحياء على أساس "عملياته" لا "بنائه"، وأولئك الذين يعدون الجينةَ والكائنَ الحي والنظام البيئي والغلاف الحيوي "كائناً حياً خارقاً" ومتكاملاً؛ بحيث تكون صحة كل جزيئية قائمة على حالة

المنظومة كاملة وصحتها. وهذا يجعلنا نعتقد أن خبراء الهندسة الجينية ممن سلكوا الطريق المتشددة قد يخسرون مكانتهم المهيمنة لمصلحة خبراء الإيكولوجيا وخبراء علم الوراثة التطوري ممن سلكوا الطريق المعتدلة، ويتفق تفكيرهم مع الطبيعة الخاصة للغلاف الحيوي. وإذا كان الأمر كذلك، فسيتفوق خبراء التقنية الحيوية ممن اعتمدوا منهجاً سلساً على من اعتمدوا أسلوباً متشدداً وجاؤوا بتقنيات تأشيب الدنا في قرن التقنية الحيوية.

وتجبرنا ثورة التقنية الحيوية على أن ننظر إلى رؤيتنا العميقة والمعمقة للحياة ومسارها والغاية منها؛ لتجعلنا في المحصلة نفكر في معنى الوجود. وقد يكون ذلك أعظم ما قدمته ثورة التقنية الحيوية لنا، وعلينا نحن أن نقرر مسارنا بعد ذلك.

التقنية الحيوية المعتدلة والمنظومة الشبكية للأعمال

إننا نحقق الآن نقلة نوعية من عالم الفيزياء والكيمياء إلى عالم الأحياء؛ إذ وضعت الاكتشافات المهمة في مجال علم الوراثة حجرَ الأساس لثورة اجتماعية وتجارية مهولة. وحتى اللحظة، ظل الجدل بشأن التقنية الحيوية ضيقاً وضحلاً. ويتحدث مناصرو الصناعة عن نهضة بيولوجية قادمة على حين يعبر النقاد عن مخاوفهم من احتمال قيام "عالم جديد شجاع". وعادةً ما تعرض وسائل الإعلام طبيعة الجدل المثار عرضاً قاسياً، فقد تضع التقدم العلمي في كفة وردة الفعل المتمردة والرافضة في أخرى. غير أن القضية معقدة أكثر من ذلك بكثير. فالعلم ذاته قيم. كما أن دراسة الجينات قد ساعدتنا في فهم أسرار الحياة. والسؤال هنا: كيف عسانا أن نطبِّق المعرفة الناشئة بطريقة تلبي مصلحة أجيال المستقبل وطموحاتها؟

هناك رؤيتان تقنيتان واسعتان تتشكلان ونحن على عتبة قرن التقنية الحيوية، كل واحدة منهما مبنية على مجموعة مختلفة من المبادئ والافتراضات حول السبل المثلى لتطويع علم الوراثة. فهناك الرؤية المتشددة وهي الرؤية المهيمنة في الوقت الراهن في علوم الحياة، وهي قائمة على كتابة سفر تكوين جديد في مجالات تتراوح بين الزراعة والطب. والغاية هنا هي التدخل تدخلاً مباشراً في المسيرة النشوئية وتوجيهها، من خلال استغلال تقنيات جديدة مختلفة مثل تأشيب الدنا، والاستنساخ، والتحام الأجنة. وتشمل تقنيات أصحاب

هذا المذهب المحاصيل الغذائية المعدلة جينياً، والعقاقير الدوائية الفائقة، والمعالجات الجينية، بل الأعضاء البشرية المستنسخة وتصميم أطفال بحسب الطلب وفي المستقبل. أما أصحاب الرؤية المعتدلة - التي بدأ بعض الدارسين يأخذون بها في أبحاثهم ودراساتهم - فهي قائمة على استغلال المعرفة المتأتية من العلوم الجينية في إدارة المسيرة النشوئية الحالية بشكل أفضل. والغاية هنا هي تطوير منتجات وعمليات مستدامة وتدعم القيم الجوهرية لأشكال الحياة على اختلافها؛ بحيث لا تضللنا القيمة المنفعية عن القيمة الجوهرية الحقيقية. ويستخدم أصحاب هذه الرؤية الاكتشافات الحديثة في مجال الجينوم البشري لإقامة منهجية علمية متقدمة من شأنها أن تطور الزراعة المستدامة والعضوية والإجراءات الطبية الوقائية على سبيل المثال.

ومن المفارقة حقاً أن الكثير من التقنيات الجينية "المتشددة" التي نسميها اليومَ التقنيات "الفائقة"، إن لم تكن كلها، سينظر إليها في المستقبل القريب على الأرجح على أنها قديمة وقصيرة الرؤية في طبيعتها فيجعلها هذا غير مستدامة تجارياً وغير مقبولة اجتماعياً، أما التقنيات "المعتدلة" فستحقق لنفسها قبولاً واسعاً، وقد تحقق هيمنةً تجاريةً في مجالات عدة في العقد الثاني من القرن الحادي والعشرين.

وعلى حين أن التقنيات الحيوية "المتشددة" أكثر توافقاً مع الافتراضات التي بُني عليها اقتصاد السوق، فإن التقنيات الحيوية "المعتدلة" أكثر ملاءمة في المنظومة الشبكية لإنجاز الأعمال. ومادامت صناعة علوم الحياة تمر بمرحلة انتقالية من الأسواق إلى المنظومة الشبكية، فإنه من المرجح أن تعيد توجيه أبحاثها ودراساتها بعيداً عن التقنيات الحيوية "المتشددة" في طريقها نحو التقنيات والتطبيقات "المعتدلة".

أما في الأسواق، فتسعى شركات العقاقير الدوائية لأن تبيع أكبر عدد من العقاقير الدوائية وتطور أكبر عدد من الإجراءات الطبية. وفي الأسواق تتحقق الأرباح من معالجة المرضى. أما اليوم، فإن صناعة علوم الحياة - مثل غيرها من الصناعات المهمة - تواجه سوقاً عالميةً تشهد تراجعاً في تكلفة العمليات، وتضاؤلاً في هامش الأرباح، بل تراجعاً في القدرة الإنتاجية بسبب قلة الطلب العالمي. وقد بدأت بعض شركات علوم الحياة تنتقل بالفعل من الأسواق إلى المنظومة الشبكية ومن بيع السلع إلى تقديم الخدمات في محاولة لاقتناص العائدات الضائعة.

وعلى سبيل المثال، نجد أن شركة مثل إيلي ليلي (Eli Lilly) وسميثكلاين بيكهام (SmithKlineBeecham) قد دشنتا برامج بدئية لإدارة الأمراض في المملكة المتحدة. وتطور الشركتان علاجاً لأمراضٍ؛ مثل: اضطرابات الجهاز العصبي المركز، والسرطان، والسكتة، والنوبات القلبية، وداء السكري. أما مهمة الشركتين الجديدة فهي وقائية: أي المحافظة على صحة الفرد ومراعاتها. ولكن، لو راعينا صحة الفرد وحافظنا عليها فعلاً لما اشترينا الكثير من العقاقير الدوائية التي تطورها الشركتان. إذاً، من أين ستحقق الشركتان عائدات مالية؟ لقد دخلت الشركتان الدوائيتان في علاقة شبكية مع شركات التأمين والمستشفيات والمؤسسات الصحية على اختلافها. ولو استطاعت شركتا إيلي ليلي وسميثكلاين بيكهام أن تحافظا على صحة عملائهما، فإن ذلك يعني تكلفةً طبيةً أقل بالنسبة إلى شركات التأمين والمؤسسات الصحية المختلفة. ومن ثم يتم اقتسام المبالغ الموفرة مع شركات مثل الشركتين المذكورتين بحسب اتفاقيات مبرمة معها تُسمى "توفير الأرباح". وقد وسَّعت شركة (BUPA) وهي شركة تأمين صحية بريطانية اتفاقيتها وشبكتها مع شركة سميثكلاين بيكهام لتشمل أرباب العمل. فعندما يمرض عامل ما فإن إنتاجيته الوظيفية تقل، وبالمقابل فإن إنتاجية العامل تزيد عندما يكون في صحته وعافيته. وهكذا فقد دخلت الشركتان الأخريان في اتفاقية مماثلة مع أرباب العمل بحيث يتقاسم أرباب العمل نسبة مئوية من الأموال الموفرة بفضل زيادة إنتاجية العمال مع الشركات الدوائية والأطراف الأخرى في الشبكة.

المثال السابق يوضح لنا البون الشاسع بين تحقيق الأرباح في الأسواق وتحقيقها في المنظومة الشبكية. ففي الأسواق، تحقق الشركات أرباحاً من إدارة إنتاجها وهامش العمليات وكمية الوحدات المبيعة. وأما في الشبكات، فإن الشركاء يحققون أرباحاً بطريقة مغايرة تماماً، من خلال تقليل الإنتاج، ومشاركة المخاطر، وتقاسم الأموال الموفرة. وفي القرن المقبل، ستحقق الشبكات أرباحاً طائلةً لأنها ستقلل الإنتاج إلى الحد الأدنى وسيتقاسم أطرافها الأموال الموفرة، مقارنةً بالأسواق حتى لو رفعت الإنتاجية إلى الحد الأعلى وزادت هامش عمليات البيع.

ومن المرجح أن تكون المحافظة على صحة الناس في المنظومة الشبكية مع اعتماد بعض التقنيات الطبية الوقائية "المعتدلة" أكثر تحقيقاً للأرباح من معالجة الناس بالطريقة

"المتشددة" القائمة على تطوير العقاقير الدوائية المهندسة جينياً والعمليات الجراحية والإجراءات الطبية الأخرى. إن المحافظة على صحة الناس عملية تتم على مدار الساعة وعلى مدار الأسبوع، وهي تتطلب علاقةً متواصلةً بين مقدم الخدمة ومتلقيها، على حين أن معالجة الأمراض تجربة مؤقتة وعابرة في طبيعتها، وهي بذلك لا تتطلب علاقةً متواصلةً. وفي عالم الوقاية الجديد سيدفع العملاء للشركات المعنية لتحافظ هي بدورها على صحتهم.

إن المعرفة المتأتية من رسم الخريطة الجينومية البشرية ستجعلنا نعيد التفكير في الممارسات الطبية في العقود القليلة المقبلة. ففي غضون العقد المقبل أو العقدين المقبلين، سيكون العلماء قد اكتشفوا آلاف الجينات وحددوها وهي تشكل في مجموعها جينوماً بشرياً. وسيكون في وسعنا جميعاً أن نحصل على سيرة جينومية كاملة. وفي الوقت ذاته، يكتشف العلماء حقائق جديدة بشأن العلاقة بين النزعات أو الاستعدادات الجينية وعلاقتها بأمراض بعينها والعوامل البيئية المختلفة التي تسبب طفرات جينية معينة. إن معظم الأمراض الرئيسية التي قد تسبب الوفاة في الدول الغنية؛ مثل: الجلطة القلبية، والسكتة، وداء السكري، والسرطان تحدث – مثلاً – عندما يتعرض المصاب ذو القابلية الجينية إلى مؤثرات بيئية ضارة.

فإذا كان أحدهم لديه – مثلاً – القابلية الجينية للإصابة بداء السكري أو السرطان أو السكتة أو الجلطة القلبية وكان هو نفسه يفرط في شرب الكحوليات أو يدخن بشراهة أو يأكل كميات كبيرة من اللحوم الدهنية، أو قلما يتحرك في حياته اليومية أو يعيش في بيئة ملوثة، فإنه من المحتمل أن يُصاب بأحد هذه الأمراض على أقل تقدير. وبالمقابل، فإن علم الوراثة قد كشف لنا أن تناول أطعمة معينة أو العيش بطريقة معينة يمكن أن يحول دون الإصابة بأي من هذه الأمراض حتى في وجود القابلية الجينية لذلك. ويطلب الأطباء في الوقت الراهن من الرجال أن يتناولوا صَلْصَة الطماطم لأنها تحوي جينات ذات بروتينات تحول دون الإصابة بسرطان البروستات. وبالمثل، فإن الأطباء ينصحون من لديهم القابلية الجينية للإصابة بسرطان المعدة أن يتناولوا الشاي الأخضر من بين الإجراءات الاحترازية.

ويعكف العلماء في الأعوام المقبلة على وضع الخريطة الجينومية الكاملة لآلاف النباتات والميكروبات، وهذا سيمكنهم من تحديد حمية غذائية لكل فرد بحسب بنيته واستعداداته

الجينية، وبحسب كل مرحلة من مراحل حياته، بدءاً من الحمل مروراً بالولادة وانتهاء بالشيخوخة. ومن المرجح أيضاً أن يتم تجنب بعض الأمراض الموروثة من خلال تغييرات في الحمية الغذائية علاوةً على بعض التغييرات البيئية الأخرى خلال الحمل. وبالمثل، قد يتم تعديل نمط الحياة والتمرينات الرياضية وبعض الأنشطة الأخرى لتتناسب مع البنية الجينية لكل منا. هذه المعلومات القيمة حول الاستعدادات الجينية والمسببات أو المثيرات البيئية يمكن استغلالها في وضع منظومة صحية لكل فرد منا تمتد معه من ولادته حتى شيخوخته. هذه المنهجية الجينومية السلسة يمكن أن تطيل أعمارنا وتحسن نوعية حياتنا حتى عندما نبلغ التسعين أو المائة من العمر. ويمكن استغلال الأموال التي وفرناها بعد أن انتقلنا من مرحلة معالجة الأمراض إلى مرحلة تحسين الصحة الفردية في إقامة شبكات صحية تجارية ممتدة.ويبدو واضحاً أننا على عتبة ثورة شاملة في مفهوم الرعاية الصحية.

وهذا لا يعني بأي حال من الأحوال أن نصرف النظر عن التقنيات الجينية التي تتطلب جهداً بالغاً. بل يجب أن نلجأ إليها كخيار أخير، لا أن نعدها خيارنا الأول. وخلاصةُ القول يمكننا أن نحقق أموالاً طائلة إذ ما راعينا الصحة العامة، تفوق في الحقيقة ما سنحققه من تطوير العقاقير الدوائية والمتاجرة بها لمعالجة العلل والأمراض المختلفة.

الفصل الثالث

هل ستكون التقنية الحيوية القوة المحركة لاقتصاد القرن الحادي والعشرين؟ التحديات الماثلة أمام الدول العربية

خوان إنريكس-كابوت وهيلين كويجلي*

لنا أن نقول إن واحدة من مصائب العالم العربي[1] اليوم أنه لم يحافظ على قديمه وإرثه كما ينبغي له. فمن المرجح أن تصبح علوم الحياة القوة المحركة للاقتصاد العالمي في هـذا القـرن. لقد برع علماء العرب في هذا المجال في القرون الغابرة، غير أنهم انصرفوا عنها في العصر الحديث. ومن الأسباب المهمة التي نزعت من العالم العربي مكانة الريادة في مجال علوم الحياة أن العرب قد نسوا أو تناسوا ما كانت عليه هذه المنطقة منذ ألف عام فحسب. إذ يركز الكثير من قادة اليوم على الأحوال السائدة في هذه المنطقة منذ خمسة قرون فحسب، وإن كان أولى بهم أن ينظروا إلى ما كانت عليه المنطقة منذ ألف عام وأن يعودوا إلى سابق عهدهم.

وما أسهل أن ننسى – في ظل الصراعات والاضطرابات المتفاقمة والأوضاع البائسة – أنه طوال قرون عدة «احتل العالم الإسلامي مكانة الريادة في الحضارة الإنسانية وإنجازاتها... ولم تكن هناك سوى حضارة وحيدة تضاهي الحضارة الإسلامية في مستواها ورقيها وإنجازاتها المختلفة... ألا وهي الحضارة الصينية».[2] لقد برع العرب وكانوا الأبرز تجارياً وعلمياً وبحثياً. كما برعوا في الرياضيات وعلم الأحياء والكيمياء وعلم الفلك (انظر الشكل 3-1).

---

* يود المؤلفان أن يشكرا بروس سكوت (Bruce Scott) وجورج لوج (George Lodge) ورودريجو مارتيني (Rodrigo Martínez) وجيرمان جيتان (German Gaytan) على تعليقاتهم وملاحظاتهم.

الشكل (3-1)

رجال العلم



المصدر: بزرك بن شهريار الرامهرمزي، كتاب «عجائب الهند (بره وبحره وجزائره)» (لايدن، هولندا: بريل، 1886).

وإذا أرادت أمة ما أن تتبوأ مكانةً عظيمةً في مجال علوم الحياة فعليها في البداية أن تلم إلماماً تاماً بأحدث ما تم التوصل إليه في علوم مختلفة؛ منها على سبيل المثال لا الحصر: الكيمياء والرياضيات والطب وعلم العقاقير. وهذا ما حدث بالفعل في العالمين العربي والإسلامي في الماضي، ولم يعد له أي أثر في العصر الحديث.

ويرى بعض الدارسين صورة نمطية للعرب اليوم مفادها أن العربي ليس بارعاً في الرياضيات والعلوم، بل إنه ليس باحثاً مجداً صبوراً، وأن "الآسيوي" - لا العربي- هو

من برع حقاً في هذه العلوم. هذه الصورة النمطية هي محصلة الجهل، وربما الأفكار المتوارثة، أو عدم التعليم. ولا يمكن أحداً أن يقول: إن العرب غير مؤهلين بشكل متأصِّل. ونحن نعرف أنه طالما لاحقت تهم زائفة بعدم الأهلية والبراعة شعوباً وأجناساً، أو مناطق معينة من العالم، طوال قرون. لقد ظن الكثير من الأمريكيين في ستينيات القرن المنصرم عامة أن عبارة «صُنع في اليابان» تشير ضمناً إلى نوعية متدنية... وأن الأمور ستبقى على ما هي عليه. وبالمثل، كان ثمة فئة قليلة ربطت فكرة «التقنية الفائقة» بالجمهورية الأيرلندية.

التغير سمة أصيلة فيما يتعلق بالدول والمناطق والشركات معاً. والتغير يحدث بوتيرة سريعة كلما خلقنا ثروة إثر ثروة بفضل المعرفة الناشئة من دون أن نتكل على ما توارثناه فحسب. وأما أن يتبوأ العرب مكانة الريادة في ثورة علوم الحياة الراهنة أو أن يعجزوا عن ذلك فيعتمد ذلك تماماً على قراراتهم التي يتخذونها من أجلهم ومن أجل مستقبل أبنائهم، ولا علاقة لذلك بتاتاً بقدراتهم ومهاراتهم المتأصلة فيهم.

أما من حيث التنافسية الكلية، فيبدو مجدياً أن ننظر إلى مكانة الدول الإسلامية والدول غير الإسلامية في الماضي ومكانتها الراهنة. وفي هذا السياق، يمكننا أن نرى إمكان اضطلاع علوم الحياة بدور ما ضمن الاستراتيجية التنموية الإجمالية لبعض دول منطقة الشرق الأوسط، ثم يمكننا بعد ذلك أن نناقش طبيعة العلاقة بين هذا المجال البحثي والاستراتيجية التنموية في المنطقة. ويحفل التاريخ بالأدلة على ما يمكن أن تنجزه بعض دول الشرق الأوسط إذا اختارت ذلك. ومؤخراً حققت دول صغيرة عدة في أرجاء متفرقة من العالم نجاحاً مشهوداً، ومنها دول في منطقة الشرق الأوسط.

ولكن، دعونا بداية نستطلع – بإيجاز – الطرائق التي تمكنت بفضلها الشعوب والدول معاً من خلق الثروة. ويبدو مجدياً تماماً أن يتفهم القادة اليومَ الدور المهم الذي اضطلعت به الزراعة والصناعة يوماً ما، وأهمية الثورة الرقمية الراهنة، والأهمية المتنامية لعلوم الحياة.

إيجاد الثروة في عالم اليوم

عادة ما ننظر إلى الدول على أنها دائمة وقوية. ولكننا لو نظرنا عبر تاريخ البشرية لرأينا أن الدول فكرة ناشئة نسبياً وأن الدول اتسمت منذ أمد بعيد بالهشاشة. فحتى عام 1500 للميلاد غطت دول "يديرها بيروقراطيون وتحكمها القوانين" مساحة لا تتجاوز خُمس مساحة اليابسة.[3] وفي العصر الراهن أيضاً نجد أن الأوضاع العالمية أبعد ما تكون عن الاستقرار، وإن كانت الكرة الأرضية برمتها مقسمة إلى دول.

وخلال القرون القليلة الماضية، وتحديداً في العقود الثمانية المنصرمة، بادت إمبراطوريات وحضارات وأمم عدة أو انقسمت – بعد أن سادت – برغم آلتها العسكرية الجبارة ونظم الحكم الفاعلة نسبياً. وقد حدث ذلك عبر القارات الأفريقية والآسيوية والأوربية. وأصاب ذلك الدول الغنية والدول الفقيرة معاً. وأصاب ذلك دولاً تشهد انشقاقات دينية وإثنية جوهرية، كما أصاب دولاً ظنت أنها بعيدة كل البعد عن مثل هذه الانشقاقات. وقد يتوقع المرء أن تحتدم مناقشات ومجادلات انفصالية في دولة مثل إندونيسيا التي تتألف من أرخبيل ممتد، ولكن من غير المتوقع أبداً أن تشهد الجزر البريطانية ودول مثل بلجيكا وإيطاليا وكندا وإسبانيا جدلاً مماثلاً.[4] ويبدو أنه لا حصانة لأي دولة على الإطلاق.

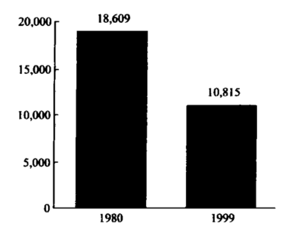
ومن الأسباب المهمة التي جعلت عدد دول العالم اليوم أربعة أضعاف ما كانت عليه منذ خمسة عقود فحسب هو عدم فهم معظم الحكومات للتغيرات الجوهرية المتسارعة المتعلقة بخلق الثروة. إن إخفاق الحكومات في فهم قواعد الاقتصاد الجديدة يؤدي إلى تزايد مقاعد الدول ذات السيادة غير المتكافئة في الجمعية العامة للأمم المتحدة. إن الجمعية العامة كانت تضم عند تأسيسها خمسين عضواً أما اليوم فإنها تضم 192 عضواً.

ولا يجب أن يفترض أحدنا أن ما نراه اليوم سنراه في الغد أيضاً. ولم يَعُد ضرورياً أن تكون الدولة عضواً في جماعة ضخمة كي تكون قويةً اقتصادياً. وفي الحقيقة فإن بعض الشعوب الثرية يعيش في أصغر الدول مساحةً وأقلها موارد. فمواطنو لوكسمبورج، على

سبيل المثال، ينتجون ثروة تزيد بنسبة 30٪ على الثروة التي ينتجها مواطنو الولايات المتحدة الأمريكية. وفي الوقت نفسه، فإن بعض الدول الغنية بالموارد الطبيعية أضحت فقيرة لأنها لم تعلم مواطنيها طريقة تمكنهم من خلق المعارف ومن ثم إيجاد الثروات (انظر الشكل 3-2).

الشكل (3-2)

الناتج المحلي الإجمالي للفرد الواحد: المملكة العربية السعودية (بالدولار الأمريكي)



المصدر: تقرير التنمية البشرية، 2001.

الدولة والثروة مفهومان حديثان. فطوال معظم الأربعة مليارات سنة تمثل عمر الحياة على كوكبنا لم يكن لفهم سبل خلق الثروة وحفظها وتجميعها ذلك المغزى أو المعنى المهم التي نعرفه اليوم. فقد أمضى بنو البشر فترة (5 ـ 6) ملايين سنة الأولى من عُمر البشرية وهم يصطادون ما يكفي لتلبية احتياجاتهم الأساسية، ولم يكونوا معنيين البتة بالاستثمار في المستقبل، فما بالك بفتح حسابات بنكية أو الاستثمار في الأسهم؟

ولم تكن هذه الحياة البدوية المتنقلة الطريقة المثلى لاستغلال طاقاتنا العقلية. بل لقد بلغ الجنس البشري في مرحلة ما حافة الانقراض. ويقدر بعض العلماء أنه في لحظة زمنية معينة لم يتجاوز عدد بني البشر 12000، وكانوا حينذاك هائمين يطوفون أرجاء البسيطة.[5] بل إن بعض الكائنات الشبيهة بالإنسان التي عاشت معه خلال بعض الحقب الغابرة قد

انقرضت بالفعل.[6] ففي ذلك العالم أضحى "الغني" شيئاً فشيئاً يصطاد الحيوانات أو يجمع الفواكه والألياف بطريقة فعالة، وقد جعل هذا الغلبة الاقتصادية للأسرع والأقوى.

ولكن بعد عشرة آلاف عام تقريباً، أضحى الإنسان يفكر ملياً بعملية إنتاج الطعام والثروة أكثر من أي وقت مضى. وهذا ما تبعه ظهور القرى. وأضحى فهم المعارف الواسعة وتطبيقها أمراً ضرورياً يضاهي في أهميته القوة والسرعة. ويوماً بعد آخر، بدأت المجتمعات البشرية تراكم الطعام الزائد على حاجتها وتخزنه، وكان ذلك يعني أن يجمع أفرادها الثروة ويخصصوا جزءاً من وقتهم ومواردهم ليثروا أكثر فأكثر، وليبنوا مدناً ومراكز شعائرية. ومادام من الصعب على أي فرد أن ينتج ثروة ضخمة وحده، فقد حرص الإنسان – مع تشكل الإمبراطوريات ونموها – على أن يكون له عدد كبير من الأبناء، وأن يأخذ لنفسه المزيد من الموارد الطبيعية، وأن يضع يده على المزيد من الأراضي. وطوال قرون مضت كانت القوى العظمى في العالم هي الدول ذات الكثافة السكانية العالية مثل الهند والصين والإمبراطوريات الضخمة؛ مثل: الإمبراطورية الرومانية. فقبيل الثورة الصناعية، أسهمت الهند والصين بما نسبته 40٪ من الناتج الاقتصادي العالمي.[7]

ولكن لم يتحقق أي نمو اقتصادي يُذكر في البداية بسبب تنازع الدول للسيطرة على الموارد المتاحة. صحيحٌ أن حكاماً معينين ودولاً محددة جمعوا ثروة ضخمة لأنفسهم، غير أن الإنتاج العالمي والثروة العالمية ظلا يراوحان مكانهما. ففي الفترة بين عامي 1000 و1820 كان معدل النمو الاقتصادي العالمي نحو 0.1٪ سنوياً.[8]

ومنذ ألفيتين أو ثلاث، مثلت تقنيات علوم الحياة السبيل المثلى لتوليد رأس المال وجمع الثروة. وعُدَّت القدرة على إنتاج ماشية وزراعة محاصيل أكثر إنتاجية إنجازاً مهماً تبعه ظهور الكثير من الكتابات العظيمة وحركة علمية وفنية نشيطة. هذه الثورة حدثت في البداية على نطاق واسع في منطقة الشرق الأوسط، ولاسيما في منطقة "الهلال الخصيب". وشكلت علوم الحياة عنصراً مهماً في هذه الهيمنة الاقتصادية والثقافية؛ حيث كانت هذه المنطقة صاحبة الريادة في تدجين حيوانات مثل الماعز والخراف والأبقار.[9] هذا الاقتصاد الذي قام على المصادفة؛ حيث تضم هذه المنطقة أكثر الحيوانات والنباتات إنتاجاً في العالم،

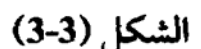
كان مقدمة لحضارة عريقة ترسخت بمعارفها المتنامية في مجالات شتى، شملت علم الفلك، وعلم المياه، والتجارة، والأسلحة، والتشييد.

ثم جاءت الاكتشافات العلمية المتلاحقة بعد أن أضحت المعرفة ذاتها غير كافية. فالأمم التي لا تنفتح على الأمم الأخرى، ولا تتعلم، وتعتمد اعتماداً متواصلاً على ما لديها فحسب، وتكون غير معنية بخلق المعرفة والثروة، تفقد مكانتها في الصدارة، ثم تنهار. وهناك أمم تنسى هذه العِبَر أو تتناساها، وإن كانت ترى بين حين وآخر أمماً تنهار لأنها لم تأخذ عبرتها من الأمم السابقة. وتظن هذه الدول أن الأرض و"السلع"، لا العقول والأفكار المبدعة، هي التي تدفع بنا إلى الأمام. وقد تخوض بعض الدول حروباً دمويةً لتمنع إقليماً أو جماعةً من الانفصال عنها، أو لحماية مناجمها ومعادنها، أو لتوسِّع حدودها. وقد تدعو هذه الدول إلى زيادة عدد السكان بوتيرة متسارعة وإن كانت لا تملك مؤسسات تربوية أو مؤسسات رعاية صحية قادرة على دعم الزيادة السكانية. ومحصلة ذلك أن تصبح هذه الدول فقيرة سنة بعد أخرى، وإن ملكت ما كان يُعد موارد معدنية قيمة على نطاق واسع.

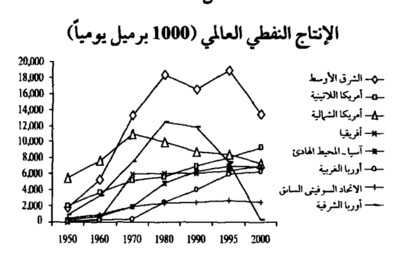
ولن يفهم بعض الناس أبداً أن الأمور قد تغيرت، ولن يفهموا أثر ذلك فيهم. صحيحٌ أن معظم ثروة الولايات المتحدة الأمريكية كان نفطياً. وفئة قليلة ضاهت رجل الأعمال الأمريكي الشهير جون روكفيلر (John Rockefellar) في ثروته ونفوذه عندما كان رئيساً لشركة ستاندرد أويل (Standard Oil). غير أن وسائل إنتاج الثروة قد تغيرت، وتغيرت معها طبيعة الشركات العملاقة وطبيعة الأفراد.

إذ ما عاد النفط أعظم ثروات الولايات المتحدة الأمريكية على الإطلاق، وما عاد النفط الدعامة الأولى للدول الأقوى في العالم. والأمر نفسه يُقال عن الموارد الطبيعية. فشركتان مثل مايكروسوفت (Microsoft) وآي. بي. إم. (IBM) لا تملكان أرضاً تُذكر، ولا تملكان أي موارد طبيعية، وتوظفان عدداً قليلاً نسبياً من الموظفين لكل دولار من الثروة المتحققة. على حين لم يشكل النفط – حتى عندما بلغ الذروة في العقود الأخيرة – سوى 4٪ من ثروة العالم، علماً بأنه يشكل اليومَ أقل من 1.5٪ منها (انظر الشكلين 3-3 و3-4).

ما أهمية النفط إجمالاً؟[10]

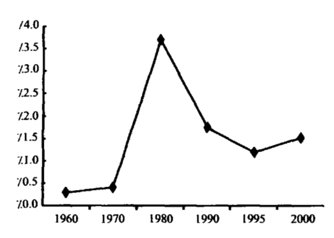


الإنتاج النفطي العالمي (1000 برميل يومياً)



الشكل (3-4)

إنتاج النفط كنسبة مئوية من الإنتاج الإجمالي العالمي



ملاحظة: السعر المستخدم في حساباتنا سابقاً هو المتوسط السنوي لسعر النفط الخام في البئر.

المصادر: World Bank. *World Development Indicators, 2002, CD ROM. International Petroleum Encyclopedia, 2002. Basic Petroleum Data Book, Petroleum Industry Statistics*. Volume XXII, Number 2, August 2002.

على حين أن الكثير من الدول أخفقت في فهم التوجهات في إنتاج الثروة، بدأت فئة قليلة من الدول تتغير بسرعة.

من الهيمنة الرقمية إلى المستقبل الجينومي

إن ما حل محلَّ "السلع" هو "البِتْ"،[11] أو بتعبير آخر الأفكار. وهذا تطلب إنشاء مجموعة مختلفة من المؤسسات، وتغيير مفاهيمنا لحقوق الإنسان، وإقامة نظم تجارية معقدة ومفتوحة جزئياً، بالإضافة إلى التأكيد على وضع أسس الملكية الفكرية وحمايتها.

وفي هذا النظام الجديد للملكية الفكرية فإن اللغة السائدة ليست الإنجليزية أو الصينية أو الروسية أو العربية. إنها لغة الثنائية الرقمية (1 و0) التي لم تكن لها أهمية تُذكر حتى عام 1970 على سبيل المثال. أما اليوم فتشكل لغة الثنائية الرقمية نحو 93٪ من البيانات التي يتم نقلها على كوكبنا. [12] وكان الثراء من نصيب الدول التي ألمت بلغة الثنائية الرقمية وطبقتها وعلمتها أبناءها.[13] ونرى هذا الأثر واضحاً في توجهات الدخل للفرد الواحد المدرجة لاحقاً، حتى عند مقارنتها باستخدام ما يُعرف باسم مكافئ القوة الشرائية (انظر الجدول 3-1).

الجدول (3-1)

الناتج المحلي الإجمالي للفرد في دول مختارة

(مكافئ القوة الشرائية)

	الناتج المحلي الإجمالي للفرد الواحد (مكافئ القوة الشرائية) في دول مختارة (بالدولار الأمريكي)					
	1975	1980	1985	1990	1995	2000
أيرلندة	3,435	5,841	8,051	12,687	17,921	29,866
سنغافورة	2,847	5,917	7,662	12,783	19,432	23,356
إسرائيل	5,270	7,908	9,857	13,450	17,550	20,131
كوريا الجنوبية	1,693	3,037	4,906	8,880	13,814	17,380
المعدل الإسلامي (34)	1,371	2,143	2,515	3,457	4,553	5,511

المصدر: Wold Bank, *World Development Indicators 2002* (CD ROM).

ويرى بعض الناس أن الحقبة الرقمية قد انتهت وأنها لم تولد ثروة تُذكر. وعلى الرغم من الأزمة التي عُرفت باسم فقاعة شركات الإنترنت، فإن أحداً منا لم يتوقف عن استخدام البريد الإلكتروني، أو البحث على الإنترنت، أو الشراء عبر الإنترنت. كما تغيرت الأبجدية التي نستخدمها في نقل محادثاتنا الهاتفية، وموسيقانا، وصورنا، وأفلامنا، وسجلاتنا الطبية. كما تغيرت الدول التي تحتل مكانة الريادة حاضراً ومستقبلاً. وتسبب الأمية الرقمية تبعةً ثقيلة على المجتمعات على اختلافها.

وفي عام 1965 راهنت فئة قليلة على اليابان وكوريا وسنغافورة وتايوان، وعلى أن أياً منها ستشكل نموذجاً يُحتذى. أما البنك الدولي فقد كان يراهن على بورما (ماينمار حالياً) والفيلبين. فأما المجموعة الأولى من الدول فقد تعلمت الأبجدية الجديدة وراحت تنتج الإنسان الآلي والسيارات والحواسيب والسفن والمنتجات المالية والتأمينية. أما المجموعة الثانية من الدول فظلت تعتمد على مواردها الطبيعية الكبيرة فحسب، حتى إن مكانتها النسبية في الاقتصاد العالمي تغيرت بسرعة ملحوظة. وفي العقود القليلة الماضية أنتج معظم الثروة الجديدة من إدارة البيانات، لا الآلات. بل إن الشركات الصناعية الضخمة؛ مثل: جنرال إلكتريك حققت معظم أرباحها من فروع مثل جنرال إلكتريك كابيتال لا من صناعة التربينات العملاقة مثلاً. وقد كتب زميلي بروس سكوت بشكل معمق حول هذه التوجهات.[14]

وفي الاقتصاد المبني على المعرفة، لم يعد ضرورياً أن تكون عملاقاً أو أن تكون ناجحاً طوال عقود كثيرة، فالمهم حقاً هو قدرتك على أن تكون ذكياً ومرناً ومنفتحاً وأن تثقف و/ أو تجذب أصحاب رؤوس الأموال الذين يفهمون الأبجدية الجديدة السائدة. وعلينا أن نقر أيضاً أنه في حال تغيرت الأبجدية السائدة مرة أخرى، فإن على الأطر المؤسسة أن تتغير أيضاً، وهذا ما يحدث الآن تحديداً.

وعلى حين شكلت الثنائية الرقمية (1 و0) محركاً نشيطاً مكن وادي السيليكون (في الولايات المتحدة الأمريكية) وبانجلور (في الهند) - بعد أن كانتا قاحلتين - من أن

تزدهرا، فإننا الآن قد بدأنا نفهم كيفية قراءة الحروف الأربعة التي تشكل شفْرَة الحياة بكل أشكالها. وفي نيسان/ إبريل 1953، أي منذ خمسة عقود، اكتشف واطسون (Watson) وكريك (Crick) البنية الجزيئية التي تشفِّر البكتيريا والنباتات والحيوانات وبني البشر على وجه الأرض، وهي الدنا (DNA).[15] وتتألف الدنا من سلسلة طويلة من أربعة أزواج قاعدية: الأدنين (adenine) والتيامين (thiamine) والسيتوزين (cytosine) والغوانين (guanine) تدعمها سلاسل سكرية ـ فوسفاتية.

هذه الأبجدية الجديدة أقوى من الثنائية الرقمية؛ إذ إنها تمكننا من تسجيل أشكال الحياة بطريقة مباشرة ومتأنية، وإذا ما أعدنا التشفير بطريقة ما، فإن وظائف الكائنات الحية تتغير. وكما أن الثورة الرقمية غيرت مكانة الأمم، فإن الثورة الجينومية ستفعل الشيء نفسه.

ظهور اقتصاد التقنية الحيوية[16]

من المرجح أن تُغير معرفتنا المتنامية بالأبجدية الجينية وتنفيذها للوظائف المختلفة قواعدَ معظم الصناعات الأساسية. فكما أن القرص المَرِن والقرص المدمج يؤديان وظائف مختلفة بحسب أوامر اللغة الثنائية المعطاة لهما، فإن البذرة ستغير طبيعة محصولها بحسب أوامر اللغة الجينومية.

وفي وسعنا الآن بالفعل أن نعيد برمجة الشفرة الجينية للماعز (الجينوم)؛ بحيث يفرز بروتين الحرير الخاص بالعناكب في حليبها.[17] وهذا بدوره، كما سنرى لاحقاً، سيغير الطبيعة والقيمة في الزراعة والطب وصيد الأسماك والحرب. ولكن، مَنْ مِنَ المرجح أن يثرى: أمربو الماعز التقليديون كما عرفناهم أم مربو الماعز غير التقليديين ممن ينتج ماعزهم أنسجة قيمة في الحليب؟ ويعيش مربو الماعز غير التقليديين في بلدات معدودة في ماساشوستس وكندا، وهم يعاملون ماعزهم معاملةً راقيةً؛ حيث تبلغ قيمة كل ماعز منها آلاف الدولارات لما لها من فوائد متنوعة.

بل إن إحداث تغييرات معدودة في نوع ما قد يكون له تأثيرات واسعة في صناعات مختلفة. فحقيقة أن بإمكاننا أن نأخذ حرير العناكب من الماعز جعلت الأطباء يهتمون بالأعمال الزراعية لأسباب عدة، من بينها أن بوسعنا أن نبدأ في استخدام خيوط جراحية دقيقة وقوية جداً قابلة للتحلل حيوياً في العمليات الجراحية. (وقد يتمكن الأطباء يوماً ما من استخدام لقاحات مُستنبتة في الموز أو البطاطس أو التبغ، بل قد يصفون لمرضاهم أدويةً مستنبتةً في جسم الماعز على سبيل المثال).

بل إن المعنيين بقضايا البيئة قد بدؤوا يهتمون بالماعز أيضاً لأنهم يستطيعون الآن أن يطلبوا من صيادي الأسماك أن يتوقفوا عن استخدام الخيوط البلاستيكية وأن يستعيضوا عنها بخيوط قابلة للتحلل حيوياً. والقضية تهم القادة العسكريين أيضاً، لأن جنودهم قد يرتدون زياً عسكرياً محاكاً من حرير العناكب، وهذا يجعلهم أخف حركة وأكثر رشاقة، بل إن الأثواب المحاكة من حرير العناكب أكثر مناعة بأربع مرات من الأثواب التقليدية المضادة للرصاص.

وكما أن لغة الثنائية الرقمية قد غيرت العالم، فإن اللغة الجينومية ستقلب العالم رأساً على عقب؛ حيث تزداد معرفتنا بهذه الأبجدية يوماً بعد آخر وبوتيرة متسارعة تجعلنا نرى الثورة الرقمية بطيئة جداً.

لقد كانت المكتبات العظيمة دائماً دليل قوة ومعرفة عظيمتين. فقد كانت الإسكندرية القديمة مركزاً عالمياً للعلم، والأمر نفسه يُقال عن دمشق وبغداد (انظر الشكل 3-5). وعكست آلاف المجلدات وجموع العلماء الحكمة المتراكمة، وأدب الرحلات، والأهم من هذا وذاك أنها كانت دليلاً على القدرة على تبني ما لدى الآخر، والتكيف مع الأوضاع المستجدة، ونقل المعرفة المفيدة إلى الأجيال القادمة. غير أن عدداً من هذه المكتبات العظيمة ومراكز العلم والمعرفة قد حُرِقت أو هُجرت أو نُهبت أو انتقلت من الكثير من المدن العربية والإسلامية. كما أن الكثير من المؤلفات العظيمة القديمة في مكتبات خارج العالمين العربي والإسلامي. غير أن ذلك لا يعني أن شعوب هذه المنطقة لا يستطيعون الوصول إلى المكتبات العظيمة والبيانات اللازمة.

الشكل (3-5)

دمشق: أحد مراكز العلم في العالم الإسلامي في العصور الوسطى



المصدر:

J.S. Buckingham, *Travels Among the Arab Tribes Inhabiting the Countries of East of Syria and Palestine*, 1825.

لم تَعُد أعظم مكتبات العالم اليوم مبنية على الأبجدية التقليدية. فمعظم البيانات مخزنة بطريقة الثنائية الرقمية (1 و0). بل إن بعض أضخم المكتبات في العالم اليوم لا تقع في مبان تقليدية كما لا تحدها حدود جغرافية. فمحرك البحث "جوجل" (google) يصل إلى بيانات أكثر بسرعة فائقة لم تعهدها أي مكتبة ورقية في أي مكان في العالم.[18] ففي شباط/ فبراير 2003 قيل إن محرك البحث "جوجل" بحث في 3.083 مليارات صفحة في ثوان معدودة. وهذا يعني أنه لم يَعُد مطلوباً من الدول أن تخصص استثمارات مادية ضخمة لجمع أعداد مهولة من الكتب الورقية. ففي وسعها أن تصل إلى مصادر معلوماتية ومعرفية ضخمة مادامت قد وفرت الاستثمارات الضرورية وحفزت مواطنيها واجتذبت مستثمرين حاذقين.

وقد أضحى مهماً جداً أن نُلِمَّ بسبل الوصول إلى قواعد البيانات الضخمة والاستفادة منها، خاصة وأن قواعد البيانات لم تعد تضم المفردات والملفات الصوتية والصورية فحسب، بل تعدتها لتضم فيضاً من البيانات الحيوية؛ إذ تشهد البشرية الآن بروز أبجدية جديدة ذات سمة عالمية – أي الأبجدية الجينية لأشكال الحياة المختلفة – وهي التي جعلتنا ننتج كماً ضخماً من البيانات الجديدة. والمكتبات الحيوية في عالم اليوم مبنيةٌ على شفرات جينية وبروتينات ومجموعة الأشكال المتعددة للنيكليوتيد الواحد (ما يُعرف باسم SNP)، وهي تشبه في طبيعتها المدخلات البيانية. واليومَ، تضم المكتبات الحيوية بيانات تفوق أعظم مكتبة معرفية ورقية تقليدية في العالم، ونقصد تحديداً مقتنيات مكتبة الكونجرس في الولايات المتحدة الأمريكية. بل ستكون المكتبات الحيوية أضخم من مثيلاتها الراهنة بكثير. ولابد أن تتزايد القوة الحاسوبية بشكل مذهل للتكيف مع الكميات المتنامية من الصور الثابتة والمتحركة.

واليومَ يمكن لشركة واحدة متخصصة بالعلوم الجينومية أن تولد بيانات تعادل أضعاف المقتنيات المطبوعة في مكتبة عظيمة مثل مكتبة الكونجرس.وتتضاعف هذه البيانات كل شهر. ومادامت المعلومات المخزنة في بنوك البيانات تُلحق بها ملاحظات توضيحية وتُربط ببعضها بعضاً، فإنها تتضاعف حجماً وتعقيداً. لقد كان إنجازاً رائعاً في السابق أن يتمكن أحد كبار علماء الكيمياء من إنتاج مركبات كيميائية جديدة معدودة سنوياً. أما اليوم فإن طالبَ دراسات عليا في كلية طب جامعة هارفارد ينتج أكبر من 7000 مركب جديد خلال ستة أشهر بل يحللها عبر سبعمائة وعشرين بُعداً.[19]

ويتوافر نحو نصف بيانات التسلسل الجيني مجاناً للعامة.[20] وهذه البيانات مخزنة في مواقع عامة على شبكة الإنترنت ويمكن الوصول إليها عبر الحاسوب الشخصي. ويمكنك الآن أن تعود إلى مكتبك لتبدأ في تنزيل مليارات من البِتَّات (bits) من البيانات الجينية من اليابان وأوربا والولايات المتحدة الأمريكية.[21] وتمكننا هذه البيانات الجينية من فكِّ شفْرَة أمراض مثل الأيدز والأنفلونزا والتهاب السحايا. كما أنها ستمكننا من مقارنة التركيبة الجينية للنباتات، والأسماك، والأبقار، والشمبانزي مع مثيلتها عند الإنسان.

وقد يساعدنا فهمنا لتركيبتنا الجينومية والبنى الأكثر تعقيداً مثل البروتيوم (تعريف البروتينات وتفاعلاتها) من فهم أسباب الإصابة بمرض ما، وأسباب استجابة حالة ما للمعالجة وعدم استجابة حالة أخرى له.

وسيتعدى تأثير علم الجينومات وعلم البروتينات حدود عيادة الطبيب والعقاقير الدوائية؛ فقد وجدت شفرة الحياة بالفعل طريقها نحو حواسيب شركات التأمين لمساعدتها في فهم السجلات التأمينية ومقارنتها. وهذا ما أثار جدلاً بين جمعيات حماية المرضى والمشرعين، يحتمل به أن يؤدي إلى إصلاحات مهمة في تشريعات الخصوصية.

وقد شكلت الأعمال الزراعية شراكات مختلفة مع الشركات الكيميائية والدوائية والتجميلية وشركات الطاقة وإدارة المعلومات. ومادام هناك اهتمام متزايد بالتصنيع من خلال الكائنات، فإنه من المحتمل أن تتغير طبيعة صناعتنا للأشياء تغيراً يماثل ما حدث إبان الثورة الصناعية.[22]

فالبيانات موجودة بالفعل والتغيرات حادثة لا محالة. غير أن فئة قليلة تعي معنى ذلك وأهميته، وإن كان بعض الناس يعي ذلك بسرعة. ولا يمكننا أن نتجاهل بأي شكل من الأشكال مثل هذه التغيرات الجذرية التاريخية في الأنماط الإنتاجية. فقد أثرت الثورة الصناعية تأثيراً عميقاً في الهيمنة الاقتصادية العالمية المقسمة بين الهند والصين بينما عززت صدارة بريطانيا وأوربا الغربية. وبالمثل، فإن الثورة الرقمية أتاحت لبعض دول شرق آسيا أن تحقق لنفسها مكانةً متقدمةً. وكان هناك عدد محدود من القادة الذين يمكنهم بفضل رؤيتهم أن يغيروا الأطر المؤسسة العامة والقوانين والتعليم والبنية التحتية والسياسات الاستثمارية بما يتفق مع الثورة الناشئة. ويمكن القادة الذين يفعلون ذلك أن يبنوا دولاً عظيمةً في فترة قصيرة. وستحدد الثورة الجينومية من سيحتل مكانة الصدارة في مجالات؛ مثل: المواد الكيميائية، والعقاقير الدوائية، والطاقة والأعمال الزراعية.[23]

في الماضي كان يتعين على أحدنا – من أجل أن يدخل الحقبة الرقمية – أن يتعلم لغة جديدة ومجموعة من المهارات. ولولا ذلك لما تمكن من أن يستخدم الحاسوب أو يتواصل

عبر البريد الإلكتروني. أما اليوم فيتعين على أحدنا أن يتعلم مجموعة مختلفة من المهارات ليدخل الحقبة الجينومية. وربما لا يكون ضرورياً أن يصبح أحدنا عالماً أو مبرمجَ حياة، ولكن من الضروري تماماً أن نفهم أهمية شفْرَة الحياة وما الذي يمكن تحقيقه من خلالها والتغيرات التي ستحدثها.

ولكن، هل يمكن الدول العربية والإسلامية أن تقدمَ إسهاماً مهماً في هذا المجال؟ هل من مؤشر على أنها ستحقق غايتها إذا فعلت ذلك؟

جذور علوم الحياة في العالم الإسلامي

منذ أكثر من ألف عام تقريباً، بدأ العالم العربي والإسلامي حقبةً من الاكتشافات والإنجازات العلمية البارعة وغير المسبوقة. ووضع علماء العرب والمسلمين في الفترة بين القرنين التاسع والرابع عشر الميلاديين أعمالاً عظيمةً في مباحث علمية مختلفة.

وخلال الحقبة الذهبية، ازدهرت المعارف الإسلامية كما انتشر التعلم والبحث العلمي. وكان من شأن التقدم الذي تحقق في الرياضيات أن شجع الدراسات الفلكية، وكان من شأن التقدم في الكيمياء أن شجع الدراسات الطبية. وازدهرت المباحث الأساسية التي تُعد اليوم ضرورية لتطور علوم الحياة، ومنها عِلْما النبات والتشريح. وفي حقيقة الأمر فإن العلوم الغربية التي نراها اليوم انطلقت في جزء منها من هذه الاكتشافات والتطويرات العلمية.

وشكلت بغداد ودمشق في العصور الإسلامية الوسطى اثنين من أعظم المراكز العلمية والثقافية. ومن المراكز المهمة الأخرى طُليطلة وقرطبة وغزنة. وليس مستحيلاً على الإطلاق أن نغير مجرى الأمور في الغد القريب وأن نعيد الحياة إلى الثقافة والمعرفة التي جعلت هذه المنطقة مركزاً عالمياً للمعرفة. وهذا ما حدث في دول أخرى. وهذا ما يحدث اليوم في دول؛ مثل الصين والهند.

ومن الأمثلة الواضحة في هذا السياق فيتنام التي لم تكن في سبعينيات القرن المنصرم مقصداً سياحياً مرغوباً فيه. ولكن، وفي غضون ثلاثين عاماً، وتحديداً في عام 2003 نشرت

صحيفة نيويورك تايمز العنوان الآتي: "فيتنام أضحت مقصداً سياحياً آمناً".[24] فالأمور تتغير ولا تبقى على ما هي عليه، وقد تتحسن أحياناً بسرعة بالغة.

فالعالم الإسلامي له باعه وتاريخه في العلم والبحث العلمي. فبحلول القرن التاسع للميلاد كانت الخلافة العباسية في بغداد قد وسعت صناعة الورق ووضعت نظاماً موحداً للتدوين. وهذا ما أتاح للكثيرين أن يمحوا أميتهم وأن ينشروا أفكارهم. وتوسع إنتاج الكتب ونشرها إلى حد بعيد. ثم تُرجمت الكتابات اليونانية والسنسكريتية ونُشرت. وأسبغ الخلفاء والسلاطين رعايتهم على الفنون والعلوم المختلفة، وازدهرت المكتبات. وفي عام 830 الميلادي أسس الخليفة العباسي المأمون بيت الحكمة في بغداد فكانت مكتبةً ومركزاً للعلم ومدرسة فعلية ومرصداً فلكياً في الوقت ذاته.

ومع التحول من الثقافة المحكية إلى الثقافة المكتوبة، أضحى من السهل جمع المعارف ودراستها ونشرها. وبحلول القرن العاشر الميلادي طور الوزير العباسي ابن مُقلة خط النسخ الذي كان بشيراً للكتابة العربية الحديثة. ويسَّر الخط الموحد عملية الطباعة والتعليم، ويقال: إن دار العلم كانت تضم في القرن العاشر الميلادي عشرة آلاف مجلد من الكتابات العلمية، وهذا جعلها واحدة من أهم المكتبات المعرفية في العالم حينئذ.

ومن المؤسف أيضاً أن هذه الفترة أظهرت أيضاً أن مراكز المعرفة قد تكون هشةً. فقد فقدنا معظم مقتنيات دار العلم عندما أحرق السلاجقة المكتبة في عام 1055 الميلادي. لكن ظل المسلمون يؤسسون المكتبات العظيمة في بقاع مختلفة من العالم الإسلامي. وفي الوقت الذي كانت فيه أكسفورد وكامبردج بلدتين صغيرتين فقط، أسس الوزير نظام الملك المدرسة النظامية في عام 1065 الميلادي، مازالت نموذجاً للمؤسسات الثقافية المعاصرة عبر العالم الإسلامي.

واحتضنت القاهرة والموصل والبصرة وشيراز بعض أعظم مكتبات العالم في العصور الوسطى. ولم تحصر المعرفة في هذه المنطقة بل تجاوزتها إلى أبعد الحدود. أما في أوربا التي غطت في عصر الظلام وعانت الطاعون وبعض الأصولية، كانت مكتبة قرطبة

العظيمة منارةً للعلم والمعرفة. أما النزر اليسير من العلم الذي انتشر في أوربا في تلك الفترة فقد تحقق بطريقة غير مباشرة؛ إذ عكف علماء اليهود في إسبانيا على ترجمة الكتابات العربية إلى العبرية، وبعض هذه الكتابات وصلت إلى قلة من العلماء الغربيين المهتمين الذين قاموا بدورهم بترجمة النصوص العبرية إلى اللاتينية. غير أن هذه الترجمات بقيت حبيسة الأديار بعيداً عن الشعوب التي عانى معظمها الأمية. وتبين كتب حديثة، مثل: كتاب ديك تيريسي (Dick Teresi) **الاكتشافات الضائعة** (*Last Discoveries*)، وكتاب سيد حسين ناصر **العلوم الإسلامية**، وملتقى اليونسكو حول العلوم الإسلامية الاكتشافات الكثيرة التي ذهبت طي النسيان.[25] وقد يكون مفيداً أن نكرر بعض الأمثلة التي جاءت عليها هذه الكتب.

فمع ظهور الإسلام بُنيت المساجد التي جمعت الشعائر الدينية والمعرفة العلمية بين جدرانها. بل إن المعارف والمباحث التي تطورت بين جدرانها قد عززت بالفعل علوم الحياة. وبحلول القرن الثامن الميلادي أُسس أول مستشفى يضم مدرسة طبية في بغداد. وتبع ذلك تأسيس مستشفيات مماثلة في دمشق، وحلب، ومصر، ومراكش. وبرغم أن معظم المعارف الطبية في تلك المرحلة كان مبنياً مبدئياً على علم الأحياء البشري كما فهمه اليونان، وخاصة أرسطو وجالينوس، فإن القاعدة المعرفية والبحثية توسعت بوتيرة متسارعة، حتى ألف العلماء العرب والمسلمون دراسات متخصصة حول الصحة، والطاعون، والأسقربوط، والأمراض الجلدية، والمَغْص، والبواسير، وطب العيون، والحُمَّى. وأضحى الكثير من هذه الدراسات منطلقاً للطب الأوربي في مراحله الأولى.[26]

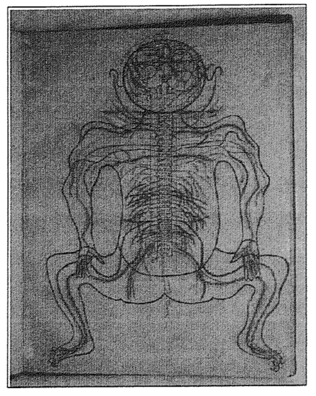
لقد ازدهرت العلوم الطبية في العالم الإسلامي طوال قرون. وصنَّف علماء المسلمين المعاجم الطبية والأدلة العلاجية المختلفة. كما صنَّف الرازي – وكان حينئذ قيِّماً على مستشفى بغداد – موسوعةً أسماها "الحاوي" أورد فيها المعارف الطبية المفصلة التي كانت معروفة حتى القرن العاشر الميلادي. بل ربما كان الرازي أول من لاحظ الفرقَ بين الحصبة والجُدَري.

أما العالم الذي ذاع صيته في الغرب فهو ابن سينا الذي وضع في القرن العاشر الميلادي كتابه الشهير **القانون في الطب** والذي ظل طوال قرون يُدرس كأحد المراجع الطبية المتكاملة.

ثم وضع علماء المسلمين مراجع مُتمِّمةً للمراجع العامة السابقة تناولوا فيها أجزاء معينة من جسم الإنسان. فقد وضع ابن النفيس على سبيل المثال وصفاً تشريحياً للقلب والدَّورة الدموية في القرن الثالث عشر الميلادي. وجاء بعده بمائة عام ابن إلياس الذي وضع وصفاً دقيقاً ومفصلاً لعظام الفك السفلي، ورسماً للدُّروز القِحْفِيَّة، والأعصاب. ويمكن الاطلاع على بعض رسوماته التفصيلية الأصلية في مكتبة الطب الوطنية في العاصمة الأمريكية واشنطن (انظر الشكل 3-6).[27]

الشكل (3-6)

الجهاز العصبي (ابن إلياس، القرن الرابع عشر الميلادي)



المصدر: Medical Images, National Library of Medicine, Washington, DC.

ولم يبرع علماء المسلمين في الطب فحسب، بل برعوا أيضاً في علم النبات، وحققوا فيه إنجازات باهرة. فقد صنع الطبيب عالم النبات التميمي في القرن العاشر الميلادي بمدينة القُدس عقاقير معقدة ونشر دراسات حول المركبات الدوائية المختلفة. ومن بين الوصفات الدوائية المختلفة المذكورة في دراساته وصفة لتِرْياق مصنوع من سُموم الأفاعي والعقارب. وهناك علماء آخرون برعوا في القرون الأولى في الدراسات النباتية ـ الدوائية،

منهم الطبري الذي أَلَّف كتابه الشهير **فِرْدَوس الحكمة** والذي تناول فيه الاستخدامات الدوائية للنباتات، ومنهم ابن البيطار الذي أَلَّف موسوعةً شاملةً في علم النبات، ومنهم الدِّينَوَري الذي أَلَّف **كتاب النبات**، ومنهم المَلَقي الذي وضع دراسات حول علم النبات وعلم الأدوية.

بل طبق بعضهم المعرفة النباتية ـ العلمية في مجال الزراعة. ولو أن راي جولدبيرج (Ray Goldberg) – الذي نَحَت مُصطلح (agribusiness) (الأعمال الزراعية) ويُعد واحداً من أهم المرجعيات العلمية العالمية في مجال الإنتاج والتكامل الزراعيين المتقدمين – عاش في القرن الثامن الميلادي لبهره علماء مثل جابر بن حيان. فقد وصف ابن حيان في دراساته حول النبات والزراعة النباتات وظروف نموها واستخداماتها المختلفة.

وجاء علم الكيمياء متمماً علم الزراعة؛ إذ تراوحت الدراسات الكيميائية بين الطب الكيميائي والتركيبة الكيميائية للمعادن. ومرة أخرى نجد جابر بن حيان يسهم في تقدم هذا المبحث. فقد أَلَّف دراسات فصَّل فيها تجاربه حول التَبَلُّر، والتقطير، والأحماض والكثير من العمليات الكيميائية. ومع بحث العلماء عن رواسب معدنية غريبة، بدأ علماء المسلمين يبحثون في علم الجيولوجيا، إذ أَلَّفوا دراسات في المستحاثات وتشكُّل الجبال والصخور الرسوبية. أما ابن سينا فقد كتب في تصنيف المعادن والفِلِزَّات، بينما درس البَيروني الأحجار الكريمة والعقاقير وأوزان المعادن وصفاتها. واهتم العرب – لأسباب لا تخفى على أحد – بالمياه الجوفية والرسوبيات. وعلى صعيد آخر ولأسباب عملية ظهرت في عام 1100 الميلادي دراسة تصف سبعة أصناف من البارود.[28]

وحتى العلوم التي قد يبدو اليومَ أنها لا تؤثر في شيء في علوم الحياة، مثل علم الفلك، فقد شكلت معبراً حاسماً، على الصعيدين العملي والنظري. فقد دفعت الحاجة إلى التيقن من وجهة مدينة مكة التي يتخذها المسلمون في بقاع الأرض قبلةً لهم في صلواتهم اليومية الخمس إلى دراسة حركة المجرات السماوية. وكان مما دفع إلى ذلك أيضاً الحاجة إلى تحديد مواقيت الصلاة الخمسة ومواعيد المناسبات الدينية على اختلافها.

وكانت هناك ثلاثة مراصد فلكية ضمنت للمسلمين تفوقاً في مجال علم الفلك، أولها مرصد الخليفة المأمون (القرن التاسع الميلادي في بغداد) ومرصد المغول في مَراغَة (القرن

الثالث عشر في إيران)، ومرصد أُلُغ بِك في سمرقند (القرن الخامس عشر الميلادي في أوزبكستان). وقد شكلت هذه المراكز البحثية وغيرها ملتقى لعلماء الفلك والمؤرخين والمترجمين وعلماء الرياضيات. كما تمت فيها ترجمة المؤلفات اليونانية وتحقيقها علاوة على الكتابات الهندية والإيرانية. هذه الدراسات وغيرها جعلت المنطقة سباقة في مجال علم الكون.

ثم جاء ابن الهيثم الذي شكك في نظرية العالم اليوناني الشهير بَطْلَيموس حول حركة الكواكب. ووضع ابن الهيثم في القرن العاشر الميلادي أعمالاً مهمةً حول علم البصريات، وانعكاس الضوء وانكساره، وعدسة الكاميرا، والظواهر الجوية. وقد فصل في كتاب المناظر التجارب المختلفة التي أجراها على الضوء. أما أقدم دراسة وصلت إلينا اليوم تضم شروحات توضح مواقع النجوم الثابتة، فقد كتبها في عام 1009 الميلادي عبد الرحمن الصوفي. ثم صمم نصير الدين الطوسي، وهو من علماء مرصد مَراغة المذكور آنفاً، نموذجاً رياضياً جديداً لحركة الكواكب، والذي عزَّزه من بعده تلميذه قطب الدين الشيرازي (الذي وضع نموذجاً لحركة كوكب عُطارد وطبَّق نظرية ابن الهيثم حول البصريات لتفسير ظاهرة قوس قُزح).

النظريات والنماذج الموضوعة في هذا الفترة عاودت الظهور بعد قرنين في أعمال عالم الفلك البولندي الشهير كوبرنيكوس، كما أنها سبقت أعمال الفلكي الألماني الشهير جوهانس كبلر بقرون طويلة. وتغطي اكتشافات علماء المسلمين في هذه الفترة وإنجازاتهم: كسوف الشمس وخسوف القمر، وعبور الشمس والنجوم الثابتة، ومواقع الكواكب ونظريات الدوران، وتحسين اختراعات؛ مثل الأُسْطُرلاب، والرُّبعية (أداة معروفة تُستخدم في الفلك والملاحة لقياس الارتفاعات)، والسُّدْسيَّة (أداة معروفة تُستخدم في الفلك لقياس ارتفاع الأجرام السماوية)، والنظريات حول مدار القمر، علاوةً على التقنيات الكثيرة لقياس محيط الأرض.

وقد قدمت القدرات الإبداعية المذهلة في مجال الرياضيات دعماً جزئياً للدراسات السابقة. فقد ترجم الخلفاء العباسيون كل كتب الرياضيات ذات الصلة بكبار علماء الرياضيات من أمثال: إقليدس وأرخميدس وأبولونيوس البرغي، وبَطْلَيموس، كما ترجموا الأعمال ذات الصلة المكتوبة بالسنسكريتية والفارسية الوسيطة. وربما كانت أعمال علماء المسلمين في هذا المجال هي التي عزَّزت المعرفة العالمية إلى أبعد الحدود.

كما طور المسلمون الأرقام الهندية وطبقوها، والشيء نفسه يقال عن الصِّفر، والنظام العشري، والأرقام السالبة. وقد تبنى الغرب لاحقاً هذه المفاهيم ومازال يستخدمها (مثل الأرقام العربية). ثم جاء الإقليدسي الذي طور طرائق الحساب مستغنياً عن الطرائق التقليدية في الحساب (ومنها الأصابع والسبورة). وما إن شاع استخدام الورق لاحقاً حتى عمد علماء المسلمين إلى كتابة المعادلات الرياضية ودراستها وتطويرها أو دحضها. وبدأ تدوين العمليات الحسابية التي كانت مودعةً في أذهان فئة قليلة أو مكتوبة على ألواح زائلة، وهذا سهَّل دراستها ونسخها وتفنيدها وتطويرها.

ثم وسِّعت الرياضيات البحتة ليتطور عنها مباحث علمية؛ مثل: الجبر، وحساب المثلثات. وكان الخوارزمي (القرن التاسع الميلادي في بغداد) من أوائل من طوروا نماذج جبرية ونقحوا نظام الأعداد العربي ـ الهندي. ثم اشتق نصير الدين المُبَرْهَنات الأساسية في حساب المثلثات. ثم كتب البيروني معادلات محددة حول حساب المُثَلَّثات الكروية. وكان عمر الخيام من فارس رياضياً بارعاً حتى إنه أجرى دراسات منطلقاً من مبدأ المستقيمات المتوازية عند إقليدس. ثم توالت الدراسات حول نظرية العدد والكسور والطرائق الحسابية وعلم الهندسة. وتركت مثل هذه الإنجازات الكثيرة أثراً عظيماً، ولعل أهم دليل على ذلك وجود مفردات في اللغة الإنجليزية مثل (algebra) (من "الجبر" في العربية) و(cipher) (من "صفر" في العربية) والأمر نفسه بالنسبة إلى كلمة (algorithm) في الإنجليزية.

والخلاصة هنا أن مباحث علمية متقدمة عدة توافرت في هذه المنطقة لتدفع مسيرة علوم الحياة نحو الأمام. بل إن أعظم علماء الأحياء والطب والكيمياء والرياضيات وغيرها من العلوم الرئيسية قد استقروا في هذه المنطقة يوماً ما. ويبدو من العدل أن نتساءل: أين ولَّت كل هذه العقول؟ ...وهل تُراها تعود يوماً؟

التحديات المعاصرة للتنمية الإقليمية

لو أننا أردنا أن نصفَ بكلمة واحدة الحقبة الذهبية في العلوم العربية والإسلامية لوصفناها بالانفتاح. فقد ازدهرت الدراسات العلمية لأن هذه المنطقة كانت، خلافاً لأوربا، تسعى للاستفادة من علوم اليونان والمصريين والهنود وبلاد ما وراء النهرين. وتدفقت المعرفة في أشكال شتى، سواء في شكل نصوص أو قصص أو خرائط أو من

خلال الشعوب نفسها. وكان الانفتاح أمراً حيوياً. ونقل المهاجرون، من مسيحيين ويهود، بعض أعظم الاكتشافات والدراسات. ولقي هؤلاء تسامحاً ودعماً عندما فروا من قبضة حكومات قمعية أو عَقَدية أو من نظم دينية صارمة غير متسامحة.

وازدهرت طوال قرون مراكز ثقافية وبحثية عظيمة. وتلقت المكتبات والمراصد الفلكية تمويلاً ضخماً وأضحت مركزاً وملتقى عاماً. كما ازدهرت المناقشات والمجادلات الثقافية والفكرية في مدن معينة. ولكن، بعد صدمة الغزو المغولي في القرن الثالث عشر الميلادي، والتحديات العسكرية المتزايدة القادمة من الغرب، وتحجُّر أنماط الحكم والممارسات الدينية، أضحى من الصعب – أكثر من أي وقت مضى – أن ندافع عن النهضة العلمية.

وشيئاً فشيئاً أبدى العالمان الإسلامي والعربي حذراً من الغرباء أو الدخلاء، وانطوت المدن والدول على نفسها، وأضحت عاجزة عن استيعاب المعرفة. وانهارت الجامعات والمكتبات أو أنها انغلقت على نفسها وباتت لا تتقبل الآخر. كما أضحت الحكومات أكثر قمعيةً وتقييداً. وأضحت الدراسات العلمية آخر همٍّ العرب والمسلمين. والأدهى من هذا وذاك أن التعليم الأساسي نفسه أخذ ينهار.

ولم يفهم العرب والمسلمون حركة النهضة في أوربا في معظمها بل ربما تجاهلوها. وفي الوقت الذي ملكت فيه أوربا العلم والعلوم والجيوش معاً، فإن قلة في الشرق الأوسط أدركت تبعات هذه التطورات السريعة. وتلاشت شيئاً فشيئاً سيادة الأمم التي لم تفهم ما يجب فهمه أو تتعلمه في الوقت الذي تطورت فيه الصناعات الفولاذية وتقدمت المدفعية والاستراتيجية العسكرية.[29]

وحاول بعض القادة المسلمين أن يصلحوا الخلل في موازين القوى بأن حاولوا أن يجمعوا المعارف بطريقة انتقائية. فأرسلوا بعثات ليفهموا دور المؤسسة العسكرية في الهيمنة الغربية. ولكن كان عليهم – في حقيقة الأمر – أن يفهموا من واقع تاريخهم المجيد وإنجازات أمتهم السابقة أن التقدم لا يتحقق من خلال حلول قليلة مستوردة من الخارج ولكن من خلال خلق بيئة شاملة ملائمة للعلم والتنمية. ولا يمكن لأحدنا أن يفكر بطريقة موسعة ومفتوحة بالرياضيات من دون أن يفعل الشيء نفسه مع علمي الأحياء والفيزياء. وصحيحٌ أن المنطقة أخذت تعرف شيئاً فشيئاً البارود والتشكيلات العسكرية[30]

ولكن من غير المعقول أن الترجمة العربية الأولى لكتاب داروين **أصل الأنواع** لم تُنشر إلا بعد الحرب العالمية الأولى.

ووفقاً للويس (Lewis) فإن استذكار الحقائق الراسخة يشغلنا في العادة عن التفكير والتجريب والتحليل، والمحاولات التي تمت لمعالجة هذه المشكلة معدودة. فمثلاً، أسس التربوي الهندي سيد أحمد خان جامعة عُليكرة الإسلامية عام 1875 في محاولة منه لتسهيل تعليم العلوم بين المسلمين. غير أن الكثير من هذه المحاولات كان معزولاً ومؤقتاً. وحتى يومنا هذا، فإن الجامعات في أرجاء متفرقة من العالم الإسلامي ذات نزعة تدريسية لا بحثية، والدراسة فيها ذات طبيعة نظرية لا عملية. كما كان الدعم الوطني للأبحاث في حدوده الدنيا على الدوام (0.02٪ إلى 0.05٪من الناتج المحلي الإجمالي).[31] ويأتي معظم هذا التمويل من القطاع العام، وليس هناك من حافز يُذكر لطلب الدعم من القطاع الخاص. والعلاقات بين علماء العرب، بعضهم بعضاً، ليست وطيدة، كما أن علاقتهم بدول العالم محدودة.

لقد تغير العالم مؤخراً تغيراً استثنائياً؛ ففي الفترة بين عامي 1820 و1992 «زاد عدد السكان خمسة أضعاف ما كان عليه، وارتفع إنتاج الفرد الواحد ثمانية أضعاف، والناتج المحلي الإجمالي العالمي أربعين ضعفاً، والتجارة العالمية 540 ضعفاً».[32] ولم تسهم كل دول العالم في هذا النمو غير المسبوق. بل في الواقع أن دولاً أكثر وأكثر تخلفت عن الركب أكثر فأكثر. وأما بالنسبة إلى دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية (مملكة البحرين ودولة الكويت وسلطنة عُمان ودولة قطر والمملكة العربية السعودية ودولة الإمارات العربية المتحدة) فيحاول كثيرون أن يعيشوا على الموارد الطبيعية الموجودة. وبرغم أهمية هذه المنطقة الاستراتيجية فإن أهميتها بالنسبة إلى الاقتصاد العالمي تتراجع مادام النفط هو المصدر الأول للثروة فيها. ففي عام 1980 مثل مجلس التعاون لدول الخليج العربية ما نسبته 8.5٪ من التجارة العالمية، غير أن هذه النسبة تراجعت إلى 2.5٪ عام 1990، على حين بلغت 2.6٪ عام 2000.[33] ولكن، كيف يمكن للأمور أن تكون على ما هي عليه؟

ففي المجتمع الزراعي، استغرق إنتاج الثروة وجمعها وقتاً طويلاً. لذا، فإن فجوة الدخل بين المجتمعات الأغنى والمجتمعات الأفقر كانت واحداً إلى خمسة تقريباً. ثم جاءت الصناعة لتغير قوانين اللعبة. فلو أن أحدهم كان لديه 12 ابناً بينما كان آخر يملك قدرة حصانية مقدارها 1000، فلنا أن نتخيل مَن مِنَ الاثنين سيحقق السبق. لقد بدأت قلة تنتج كثيراً، بينما ظلت الغالبية تفعل ما اعتادت فعله.

ثم عَقَّد النفط هذه المنظومة كثيراً، فهو مصدر ثروة سانحة الآن، غير أنه سينفد إن آجلاً أو عاجلاً. ففي العقود القليلة المنصرمة صبت معظم دول العالم المتقدم اهتمامها على فهم الأبجدية الجديدة، أي اللغة الثنائية المتمثلة في (1 و0). وكانت الثروة من نصيب الشركات والدول التي طبقت هذه اللغة تطبيقاً فاعلاً. فكيان صغير مثل شركة نوكيا، التي كانت يوماً ما تصنع جزءاً بلاستيكية عند أطراف أوربا، أعادت تنظيم نفسها واقتحمت العالم الرقمي لتصبح واحدة من أهم الشركات العملاقة في منطقتها.

وفي هذه الأثناء، صبت الدول المنتجة للنفط اهتمامها تماماً على أمن أراضيها، وآبار النفط، ومستويات الإنتاج، وغيرها من الأمور غير المهمة في الحقبة الرقمية. ثم استُغلت أعظم العقول العلمية لتنفيذ حسابات هندسية خاصة بمصافي البترول، وتحليل التشكلات الجيولوجية، وإدارة مؤسسات حكومية معينة. لذا، لو نظرنا إلى الإنتاجية الإجمالية للعامل الواحد في الفترة بين عامي 1995 و1999 (انظر الجدول 3-2) لرأينا صورة متقاربة إلى حد ما في دول مثل كوريا الجنوبية وسنغافورة والأرجنتين وإسرائيل والعراق وأيرلندة.[34]

الجدول (3-2)

القيمة المضافة للعامل الواحد والاستثمارات التعليمية

الدولة	القيمة المضافة للعامل في السنة (1980-1984)	القيمة المضافة (بالدولار) للعامل في السنة (1995-1999)	الإنفاق على التعليم كنسبة مئوية من الناتج المحلي الإجمالي للفرد لسنة 1999	متوسط أعوام الدراسة: ذكور[35]	متوسط أعوام الدراسة: إناث
العراق	13,599	34,316	----	4.6	3.3
إسرائيل	23,459	35,526	29.7	9.3	9.4
سنغافورة	16,442	40,674	----	7.5	6.6
أيرلندة	13,599	34,316	17.4	9.3	9.4
كوريا الجنوبية	11,617	40,916	----	11 7	10.0
الأرجنتين	33,694	37,480	14.7	8.8	8.9

المصدر: The World Bank, *2002 Development Indicatiors, Tables 2 5 and 2.13*.

غير أن المحصلة المجتمعية في هذه الدول كانت مختلفة تماماً، فقد استثمرت بعض الدول أموالاً ضخمةً في مدارسها لتجعل مواطنيها أكثر إنتاجية وأكثر معرفة بالعلوم، بينما لم تفعل دول أخرى الشيء نفسه. وقد فصَّل بروس سكوت هذه التوجهات.[36] كما أن

نوعية الحياة في مجملها مختلفة تماماً في الدول التي نزعت نحو الاعتماد على ما لديها بدلاً من الاعتماد على ما تعلمته. وبدلاً من أن تعلم قطاعات واسعة من أبنائها، استخدم الكثير من الدول الغنية بالموارد الطبيعية عدداً محدوداً من العمال لجعل النخبة أكثر ثراء. ولكن، في الاقتصادات الشبكية المبنية على المعرفة والواسعة القاعدة، لا تُنتج الثروة في معظمها بهذه الطريقة. ولا تُعد أعظم الدول المنتجة للنفط في العالم أمثلة تُحتذى، ومنها نيجيريا وإيران والعراق وفنزويلا أو حتى أعظمها على الإطلاق الاتحاد السوفيتي السابق.

ولكن، ما الذي حدث للدول التي بدأت تطور اقتصاداً مبنياً على المعرفة مقابل الدول التي ظلت تعتمد على مواردها الطبيعية؟ عام 1950، أنتج العراقي والأرجنتيني أكثر من الأيرلندي بنسبة 50٪ تقريباً، ونحو ضعف ما أنتجه الإسرائيلي، وخمسة أضعاف ما أنتجه الكوري الجنوبي. غير أن إسرائيل وكوريا الجنوبية لا تملكان موارد طبيعية كافية، وكان عليهما أن تستثمرا في الثروة البشرية والتقنية. وبحلول عام 1990، انهار العراق (بينما انهارت الأرجنتين عام 2002). أما إسرائيل وأيرلندة فكان أداؤهما جيداً برغم عقود من الاضطرابات، بينما كانت كوريا الجنوبية على وشك الانطلاق (انظر الجدول 3-3).

الجدول (3-3)

معدلات النمو: أمثلة لدول غنية بالموارد وأخرى فقيرة بالموارد[37]

الدولة	الناتج المحلي الإجمالي 1950 مليون دولار أمريكي	للفرد الواحد 1950	الناتج المحلي الإجمالي 1990 مليون دولار أمريكي	للفرد الواحد 1990
الإمارات العربية المتحدة	996	10,594	22,473	14,134
العراق	5,407	5,171	34,238	1,882
الجزائر	85,524	4,987	212,518	6,581
أيرلندة	10,444	3,518	38,963	11,123
إسرائيل	3,107	2,452	47,047	10,096
المملكة العربية السعودية	9,061	2,190	151,996	10,222
كوريا الجنوبية	16,622	876	384,174	8,977

المصدر: البيانات مأخوذة من المصدر الآتي:

Angus Maddison, *Monitoring the World Economy 1820-1992* (Paris:OECD, 2000). Tables F-4, D-1b, C16.

ولكن، ما الخطوة التالية؟ ربما يمكننا أن نَعُدَّ الإصدارات العلمية وتوجهات براءات الاختراع مؤشراً محتملاً لما سنراه في المستقبل؛ إذ تُعد براءات الاختراع والملكية الفكرية محركاً ضرورياً لأي اقتصاد مبني على المعرفة، وإن كانا لا يشكلان ضماناً لتحقيق النجاح. ويتعين علينا في المحصلة أن ننفذ ما نتوصل إليه. فالدراسات ذاتها، من دون تطبيقاتها العملية، غير مستدامة في المدى البعيد. والدول التي لا يثرى فيها بعض علمائها على الأقل لا تقدم مثالاً يُحتذى للأجيال المقبلة (انظر الشكل 3-4).

الجدول (3-4)

ما الدول الأكثر تنافسية في الاقتصاد المبني على المعرفة؟

الدولة	نمو المخرجات (1990-1980)	نمو المخرجات (2000-1990)	مقالات في دوريات علمية (1997)	طلبات براءات الاختراع التي قدمها غير المقيمين[38] (1999)	طلبات براءات الاختراع التي قدمها المقيمون (1999)
إيران	1.7	3 5	332	177	366
العراق	-6.8	---	35	---	----
إسرائيل	3.5	5.1	5,321	46,686	2,728
المملكة العربية السعودية	0.0	1.5	58	1,144	72
سنغافورة	6.7	7.8	1,164	51,121	0
الإمارات العربية المتحدة	-2.1	2 9	127	24,218	0
أيرلندة	3.2	7.3	1,118	119,569	1,226
تركيا	5.4	3.7	2,116	43,508	325
مصر	5.4	4.6	1,108		536
إندونيسيا	6.1	4.2	123	42,503	0
باكستان	6.3	3.7	232	----	----
كوريا الجنوبية	8.9	5.7	4,619	76,913	56,214
الجزائر	-0.7	4.3	2,119	5,558	899

المصدر: The World Bank, *2002 Development Indicators*, Table 5.11.

هل من مستقبل لعلوم الحياة في الدول العربية والإسلامية؟

لقد أظهرت شعوب هذه المنطقة وحكوماتها في السابق قدرات قيادية استثنائية في ابتكار المعارف الضرورية في مجال علوم الحياة وفهمها. وإذا هيئت لهذه المنطقة الفرصة لتنهض من كبوتها وتحقق غايتها في مجال علوم الحياة، فإن عليها أن تسأل نفسها: هل سنكون حقاً طرفاً فاعلاً في مجال علوم الحياة أو سندع هذه الثورة في الزراعة والكيمياء والحوسبة والرياضيات وعلم الأحياء والطاقة والطب تمر أمامنا من دون أن نحرك ساكناً؟

تتألف علوم الحياة من أجزاء رئيسية عدة، أولها وأهمها في يومنا هذا علم الأحياء. ولكن لن تستطيع دولة ما أن تجري دراسات في علوم الحياة وتتبوأ مكانة فيها ما لم يكن لديها الأطباء وعلماء الكيمياء وعلماء الفيزياء والمهندسون ومبرمجو الحاسوب والخبراء الزراعيون والمحامون وخبراء الأخلاقيات الطبية.

لقد انطلقت مسيرة المعرفة في علوم الحياة بفضل الاهتمام الذي أبداه بعض أهم علماء الفيزياء في العالم. فقد كتب نيلس بور(Niels Bohr) – وهو مكتشف مبادئ رئيسية في مجال البنى النووية والإشعاع – مقالة مهمة عام 1933، تضمنت بعض أهم القضايا التي ستناقشها علوم الحياة.[39] ثم جاء عالم الفيزياء البارز إيروين شرودينجر (Erwin Shrodinger) من بعده ليثير سلسلة من الأسئلة المهمة في كتاب صغير عنوانه **ما هي الحياة؟**[40] لقد ترك الكتاب أثراً عظيماً حتى إنه غير مجرى حياة عدد من العلماء البارزين في اهتماماتهم وهم في مقتبل العمر. فقد بدأ جيم واطسون (Jim Watson) – الذي اشترك في اكتشاف الدنا – دراسته وهو يحلم بأن يكون عالم طيور. ولكن بعد أن قرأ كتاب شرودينجر بدأ يدرس مبحثاً عُرف لاحقاً باسم علم الأحياء الجزيئي.

ويمكننا أن نقول بإيجاز: إن النجاح في علوم الحياة يعتمد على جذب أهم العلماء وأعظمهم في الدولة ذات الشأن والعالم وذلك في مجالات بحثية مختلفة. وهناك علماء عرب بارزون ومبدعون. غير أن أغلبهم – ومنهم الدكتور فاروق الباز – قدموا إسهامات علمية

مهمة من مختبراتهم في الولايات المتحدة الأمريكية وأوربا.[41] ولابد من جذب العقول العلمية وتوفير الظروف المناسبة لها إذا كانت دولة ما معنية بمستقبلها حقاً.

وإذا ما تحقق سلام شامل في منطقة الشرق الأوسط في الغد القريب، فهل يعني ذلك تسوية كل مشكلات المنطقة بشكل يضمن رخاء كل الأطراف ذات الصلة بذلك؟ أو أن الصراعات الراهنة تخفي تحتها مشكلات عميقة متعلقة بالتباينات في إنتاج الثروة.[42] فالسلام في المنطقة، إذا ما تحقق، قد يضع نهاية للصراعات المسلحة، غير أنه لن يقضي على التنافسية الاقتصادية. وباستثناء بعض قصص النجاح الفردية، فإن أجزاء من العالم الإسلامي متخلفة تماماً عن أوربا، وهذا ما نراه في الجدول (3-5).[43]

الجدول (3-5)

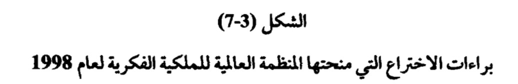
الناتج المحلي الإجمالي للفرد في دول مختارة (1970-1999)

(بالدولار الأمريكي)

الدولة	1970	1980	1990	1999
37 دولة إسلامية	197	1,145	1,071	1,124
19 دولة عضواً في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية	3,123	10,673	21,516	28,028
النسبة المئوية	٪6	٪11	٪5	٪4

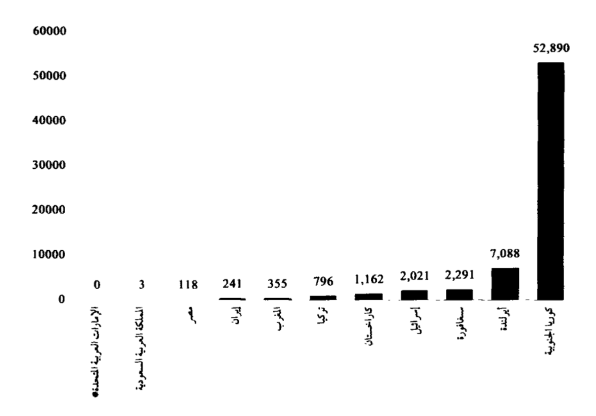
المصدر: Bruce Scott, Jamie Matthews, HBS with data from World Bank, IMF, USDepCom.

وعلوم الحياة ذاتها ليست ضماناً أو علاجاً لكل داء. وليس هناك من إجابة بسيطة للسؤال: هل ستكون علوم الحياة حجر الأساس في تطور الدول العربية؟ إن تطوير التقنية الفائقة قضية مكلفة ومحفوفة بالمخاطر (انظر الشكل 3-7). فقد أفلست شركات ودول ومناطق عندما راهنت على التقنية الخاطئة، أو عندما بكرت كثيراً أو تأخرت كثيراً في المراهنة. ولكن علينا أن نتساءل، وهذا أقل ما يمكن فعله: هل علينا أن ننتج المزيد من المعرفة في علوم الحياة أو غيرها؟



الشكل (3-7)

براءات الاختراع التي منحتها المنظمة العالمية للملكية الفكرية لعام 1998



* لم تُمنح أي براءات اختراع.

المصدر: متضمناً البيانات من المنظمة العالمية للملكية الفكرية.

وفي خضم الجدل المثار حول السبيل التي يجب أن تسلكها المنطقة، دعونا نرجع إلى ما قلناه في بداية هذا الفصل. وهو أن المنطقة لم تحافظ على قديمها وإرثها ونسيت بعض أهم أسباب نجاحها في العصور الغابرة. ويذكرنا سيد حسين نصر في كتابه **العلوم الإسلامية: دراسة مصورة**[44] بالمقولات الإسلامية الثلاث الآتية: «طلب العلم فريضة على كل مسلم ومسلمة»، «العلماء ورثة الأنبياء»، «اطلبوا العلم من المهد إلى اللحد».

القسم الثالث

قضايا مثيرة للقلق

الفصل الرابع

الخلية الجذعية وأبحاث الاستنساخ: الانعكاسات على مستقبل البشرية

جون جيرهارت

> سيتغلبون على الترهلات بالحِمْيَة والتمرينات الرياضية، وعلى التجاعيد بالكولاجين وحقن (Botox)، وعلى الارتخاءات الجلدية بالجراحة، وعلى العُنَّة بالفياجرا، وعلى التقلبات المزاجية بالعقاقير المضادة للاكتئاب، وعلى قِصَر النظر بالجراحة الليزرية، وعلى النَخَر بهرمونات النمو البشرية، وعلى الأمراض بالخلية الجذعية والهندسة الحيوية. وسيقضون على الجراثيم المُمرضة بفرشاة الأسنان المضادة للفُطريات، والغسول المعقِّم لليدين، والأغذية الطبيعية، والمياه المقننة، والنباتات القُنفذيَّة الاستطبابية.[1]

لقد راودت الإنسان منذ أمد بعيد فكرة أن يكون قادراً على استبدال أعضاء وخلايا وأنسجة سليمة بأعضائه المصابة أو المريضة أو المهترئة. وقد نتمكن من تحويل هذه الفكرة الجامحة إلى حقيقة واقعة في ظل الإنجازات الأخيرة التي شهدها مبحث الطب الحيوي. إن اكتشاف الخلايا الجذعية من أنسجة مختلفة، بالغة وجنينية، قد مهد الطريق أمام اكتشافات علمية ضخمة في مجال علم الأحياء الأساسي. وقد ثبت من التجارب التي أُجريت على الحيوانات أن الخلايا الجذعية الجنينية الخلافية - وهي مصدر الخلايا التي يتم تشكل خلايا الجسم كافة من خلالها - يمكن أن تنتج خلايا وظيفية. وهذا خلق لدى المعنيين توقعات عظيمة بأن الخلايا الجذعية ستمكننا في نهاية الأمر من تطوير علاجات مبنية على الخلية لأمراض وعلل بشرية مختلفة. إننا - في حقيقة الأمر - نشهد الآن بداية مبحث جديد في الطب أو انطلاقة له، هو مبحث الطب التجديدي (regenerative medicine) القائم على تطوير علاجات مبنية على تقنية الخلية الجذعية. ولنا أن نقول: إن دراسات الخلية الجذعية هي القضية الأهم في علم الأحياء اليوم، وقد صاحب هذه التقنية الفائقة اهتمام المجتمع إلى حد بعيد بالجوانب الأخلاقية والسياسية والاقتصادية.

لقد اقترن استنساخ الأجنة البشرية - سواء استنساخ الأجنة لأغراض تكاثرية أو لأغراض "علاجية" - بدراسات الخلية الجذعية. فقد وُلدت مئات الحيوانات (من فئران وأبقار وخراف وخنازير وقطط) من دنا خلايا أخذت من حيوانات بالغة من النوع نفسه، وهذا ما نسميه الاستنساخ التكاثري. غير أن هذه العملية أدت إلى نسبة عالية من التشوهات بل الوفيات غير المفهومة في الحيوانات المستنسخة، وهذا يوجب عدم تجربتها على بني البشر، وإن كان هناك ادعاءات عدة بحدوث حالات حمل بشرية بأجنة مستنسخة. كما أن الاستنساخ العلاجي - أي توليد أجنة لاستخدامها في اشتقاق خلايا جذعية - يثير جدلاً مماثلاً. وبرغم أن هذه العملية قد أُقرت في المملكة المتحدة فإنها تثير جدلاً حاداً في الدول الأخرى. وستمكن هذه التقنية العلماء والأطباء المعنيين من فهم الآلية التي تجعل الخلية خلية عضلة قلب أو خلية عصبية أو غيرهما. وهذه المعلومات ضرورية جداً لتطوير علاجات مبنية على الخلية من خلايا المرضى أنفسهم مباشرة، وهذا هو طب المستقبل.

لذا، فإن الخلايا الجذعية تمثل إحدى أهم الدراسات العلمية الواعدة. فهذه الخلايا - التي لا تؤدي دوراً في تشكل الأنسجة والأعضاء خلال نمو الجنين فحسب بل في تقويم الخلايا واستبدال أخرى بها عند الإنسان البالغ- أضحت محور اهتمام الطب التجديدي والقائمين على وضع السياسات العامة في مجال العلوم. وبرغم أن مجال علم أحياء الخلية الجذعية حديث العهد نسبياً فإن مفهوم الخلايا التي تملك سمات ما نسميه اليوم الخلايا الجذعية كان موضع بحث وتقصٍ طوال قرن تقريباً. بل إن مصطلح "الخلية الجذعية" الذي يشير إلى خلية قادرة على تجديد نفسها بنفسها ولها تخصصات معينة، قد طرح أول مرة في سبعينيات القرن المنصرم في دراسات تكوُّن الدم. وخلال الفترة ذاتها أدرك علماء آخرون أن خلية واحدة ضمن الأورام تُعرف باسم "السَرطانة المِسْخِيَّة" (teratocarcinomas) قادرة على تكوين أنواع مختلفة من الخلايا ضمن الورم نفسه فضلاً عن الكثير من الخلايا التي تماثلها. وقد تمت الإشارة إلى السَّرطانة المُضغية أو الجنينية باسم الخلية الجذعية، سواء الخلايا الورمية أو تلك المخلقة ضمن الورم. ومع مرور الوقت أدرك العلماء أن الخلايا الجذعية المقيمة في الأنسجة عند البالغين تتولى عملية نمو الأنسجة وتقويم الأنسجة المصابة.

وفي ثمانينيات القرن المنصرم عمقت عملية زراعة الخلايا الجذعية المُضغية أو الجنينية والخلايا الجرثومية المُضغية أو الجنينية واشتقاقها من الفئران فهمنا لتطور الفئران ونموها.

وتلقى حقل دراسات الخلية الجذعية دفعة قوية إلى الأمام مع اشتقاق خلايا جذعية جنينية وخلايا جرثومية جنينية من أجنة بشرية في أواخر تسعينيات القرن المنصرم، واقترن بـذلك - بطبيعة الحال - وعود بتطوير علاجات من هذه الخلايا. ولأن إتلاف الأجنة للحصول على الخلايا الجذعية يتم فقد أثيرت قضايا أخلاقية كان من شأنها انقسام الرأي العام حول إنتاج هذه الخلايا واستخداماتها. ومؤخراً توصل العلماء إلى أدلة (قد تكون خلافية وجدلية) بأن الخلايا الجذعية البالغة تتسم بأنها لدنة بالإضافة إلى إمكانية تطورية فائقة جداً وهذا زاد الإثارة المصاحبة لدراسات الخلية الجذعية وأثر في الجدل المثار حول استخدام الخلايا الجذعية من أجنة مخلقة وغير مخلقة.

الخلايا الجذعية الكثيرة الكُنون من أنسجة أجنة مخلقة وغير مخلقة

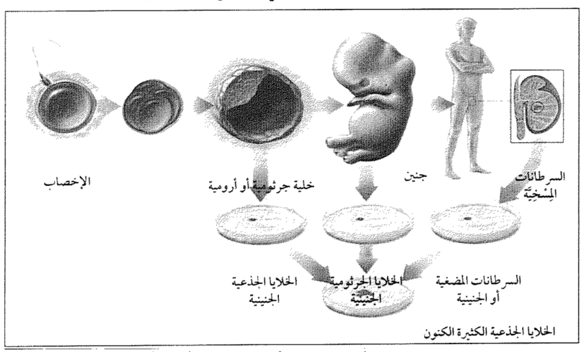
نالت الخلايا الجذعية الكثيرة الكنون، أي تلك الخلايا القادرة على تكوين كل أنواع الخلايا الموجودة في جسم الإنسان أو الأجنة المخلقة أو غير المخلقة التي هي قيد التطور اهتماماً خاصاً. ويعرف العلماء مصادر نسيجية عدة للخلايا الكثيرة الكنون في الثَّدييات (انظر الشكل 4-1).

وتُعد الخلية الجذعية الكثيرة الكنون خلية متميزة من غيرها، وقد تم التعرف عليها أول مرة في "السَرطانة المِسْخِيَّة" (teratocarcinomas)، وهي تُعد أوراماً مِنْسَلِيَّة غريبة (علماً بأن السابقة (terat) في اسمها باللغة الإنجليزية مأخوذة من اليونانية وهي تعني "المسخ")، وهي تضم نطاقاً واسعاً من الأنسجة المستمدة من ثلاث طبقات جرثومية موجودة في الأجنة في مرحلة مبكرة، وهي: الأدمة الباطنة (endoderm)، والأدمة المتوسطة (mesoderm) والأدمة البَرَّانية (ectoderm). وقد تضم هذه الأورام مجموعة واسعة من الخلايا المختلفة، بما في ذلك القلبية، والعضلة المُخطَّطة (striated muscle)، والعضلة الملساء (smooth muscle) والغضروف، والأدمة البَرَّانية العصبية الأولية، علاوةً على الخلايا العصبية والدِّبْقِيَّة (glial) المختلفة، والعظم، والخلايا الظِّهاريَّة الغُدِّية (glandular epithelia)، وأحياناً بعض البنى التي تمثل مقاطع نُسُجية صغيرة من الكلى والغدد الصُّم وغيرها. وقد تضم أيضاً خلايا مُمَيَّزة غير مخلَّقة كالخلايا السرطانية المُضغيَّة أو الجنينية أو الخلايا السرطانية في الخلايا الجرثومية المختلفة. وتتشكل الخلايا المُخلَّقة للورم من الخلايا

الجذعية الجنينية الموجودة في الورم. وهذه الخلايا الجذعية الجنينية مشتقة من الخلايا الجرثومية الأولية وهي تمثل الطليعة الجنينية للأمشاج. ويمكن أن تتخلق الخلايا الجذعية الجنينية داخل الجسم أو خارجه في أنابيب مخبرية، لتصبح أشكالاً مختلفة من الخلايا وقد تشكل هي نفسها المزيد من الخلايا الجذعية الجنينية. وتُسمى الأورام التي تكون الخلايا الجذعية الجنينية فيها قد تخلقت تماماً الأورام المِسْخِيَّة (teratomas). كما تمثل الخلايا الجذعية الجنينية جزءاً رئيسياً من أورام الخلايا الجرثومية الخُصويَّة. أما خطوط الخلايا الجذعية الجنينية المستنبتة فمشتقة من خلال عزل الخلايا الجذعية الجنينية من أورام وزراعتها في وسط يحوي مصلاً، سواء في وجود طبقة خاملة فتيلية، تسمى الطبقة المغذية أو عدم وجودها (الشكل 4-2). وفي السبعينيات والثمانينيات من القرن المنصرم شاعت زراعة الخلايا السرطانية الجنينية وتخليقها في التجارب الرامية إلى دراسة تخليق خطوط الخلايا عند الإنسان والفئران. غير أن خطوط الخلايا كافة كانت غير سوية من الناحية الصِّبْغية فأثار ذلك القلق حول طبيعة الخلايا المشتقة. وقد ثبت أن ظروف استنبات الخلايا السرطانية مهمة جداً بالنسبة إلى عملية اشتقاق الخلايا الجذعية الجنينية التي أعقبت ذلك مع بداية ثمانينيات القرن المنصرم.

الشكل (4-1)

مصادر الخلايا الجذعية الكثيرة الكنون واشتقاقها



ملاحظة: اشتقت الخلايا الجذعية الكثيرة الكنون من أنسجة بشرية مختلفة: أجنة قبل زراعتها في الأرحام، وأورام جنينية وخصوية.
المصدر: Michael S. Linkinhoker.

وفي عام 1981 اشتقت الخلايا الجذعية الجنينية من أجنة الفئـران في مرحلـة مـا قبـل زراعتها في الأرحام. وقد اشتق إيفانز (Evans) وكاوفمان (Kaufman) ومـارتن (Martin) الخلايا الجذعية الكثيرة الكنون من مستنبتات خلايا أرومية أو جرثومية في طبقات مغذية، وكانت تتألف من أنواع مختلفة من الخلايا بعضها ظل غير متخلق. وكـان ممكنـاً اسـتنبات الخلايا غير المخلقة في مستنبتات ثانوية لتشكل خطوط خلية راسخة يمكن أن تولد المزيـد من الخلايا غير المخلقة علاوةً على أنواع مختلفة من الخلايا المخلقة. وأطلق مارتن على هذه الخلايا اسم الخلايا الجذعية الجنينية. وقد بدا أن خطوط الخلايا تنقسم بلا نهاية فحدا هـذا بالعلماء إلى نعتها بأنها خالدة.

وقد كان لخطوط الخلايا الجذعية الجنينية عند الفئران تأثير بالغ في مباحث مختلفة من العلم خلال العقدين المنصرمين؛ ومنها: علم الأحيـاء التطـوري، وعلـم الوراثـة، وعلـم أحياء الأورام، وعلم السلوك، وغيرها الكثير. معظم هذا التأثير مرده إلى استخدام الخلايا الجذعية الجنينية في التعديلات الوراثية؛ ومن ثم إنتاج حيوانات معدلة لاحقـاً لدراسـتها. ثم تطور تخليق الخلايا الجذعية الجنينية خارج الجسم ليشكل صناعة صـغيرة، مـع التركيـز بدايةً على الخلايا العصبية والخلايا القلبية العضلية ومكوِّنات الدم.

ومع التحقق من أهمية الخلايا الجذعية الجنينية عند الفئران سعى العلماء طوال أعوام للحصول على خلايا جذعية جنينية بـشرية، وهـو الهـدف الـذي سـبق إلى تحقيقـه جـامي تومسون (Jamie Thomson) عام 1998.

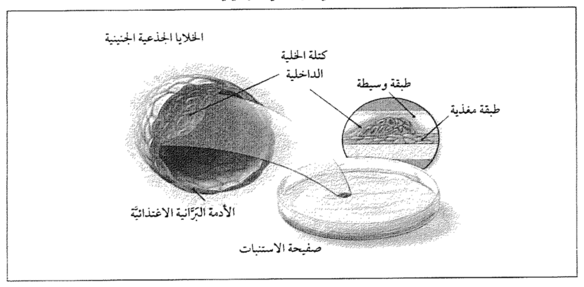
أما خطوط الخلايا الجذعية البـشرية فمـستمدة مـن كتلـة الخليـة الداخليـة لكيـسة الجرثومة المأخوذة من عملية إخصاب خارج الجسم، يقوم أشخاص بالتبرع بهـا برضـاهم ومعرفتهم بأنها لأغراض بحثية. وبعد النجاح الذي حققه تومسون أنشأت مختبرات عـدة أقساماً لخطوط الخلية الجذعية البشرية.

وتستمد الخلايا الجذعية الجنينية من خلايا جرثومية أولية مستنبتة، وهي الخلايا نفسها التي تستمد منها السرطانات المضغية أو الجنينية تلقائياً أو تجريبياً داخل الجسم (انظر الـشكل 3-4). وفي وجود المصل وعوامل نمو محددة فإن الخلايا الجرثومية الأوليـة الخاصـة بـالفئران والمعزولة مباشرة من مِنْسَلة جنينية وموضوعة في طبقة مغذية ستشكل مستعمرات خلوية لا يمكن تمييزها من الناحية التشكلية أو المورفولوجية عن السرطانة الجنينية أو الخلايا الجذعيـة

الجنينية المستنبتة في طبقة مغذية.[2] وفي عام 1998 أعلن مختبرنا أول مرة عن اشـتقاق خطـوط جرثومية جنينية من خلايا جرثومية أولية من أنسجة جثة بشرية.[3]

الشكل (4-2)

الخلايا الجذعية الجنينية

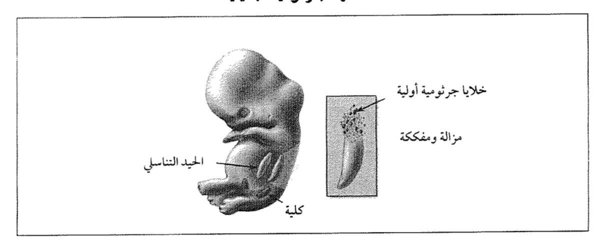


ملاحظة: تُعزل الخلايا المأخوذة من كتلة الخلية الداخلية ثم تُستنبت فيولد هذا الخلايا الجذعية الجنينية.

المصدر: Michael S. Linkinhoker.

الشكل (4-3)

الخلايا الجرثومية الجنينية



ملاحظة: تُعـزل الخلايـا الجرثوميـة الأوليـة مـن المِنْسَلة الناميـة (المَبـيض أو الخُـصْية) ثـم توضـع في مُـستنبت لتولـد خلايـا جرثومية جنينية.

المصدر: Michael S. Linkinhoker

وبرغم أن خطوط الخلايا السرطانية الجنينية والخلايا الجذعية الجنينية والجرثومية الجنينية تم عزلها من الفئران والإنسان معاً، فإن الخلايا الجذعية الجنينية وحدها هي التي تم عزلها من رتبة الرئيسات (Primates) (رتبة من الثدييات تشمل الإنسان والقرد) باستثناء الإنسان. هذا وتختلف خطوط الخلية الجذعية في سماتها ومعلوماتها، وهذا يعني أن الإجراءات والعمليات المعدّة لنوع ما، ربما لا تناسب الخلايا الجذعية المستمدة من نوع آخر، بل إنها متفاوتة أيضاً عند النوع الواحد. وقد توصل العلماء والأطباء إلى أن خطوط الخلية الجذعية تختلف في متطلبات نموها واستنباتها، ودورات حياتها، وظروف تفككها. ولابد من تطوير إجراءات لإحداث التغييرات الجينية الفاعلة المطلوبة في خطوط الخلية الجذعية والخلية الجرثومية البشرية. هذا كله يدلنا على الحاجة إلى إجراء المزيد من الدراسات المباشرة على أي مصدر للخلايا الجذعية، بل هو مؤشر على أن بعض التقنيات لا يمكن نقلها مباشرة بين المصادر المختلفة.

وتشترك خطوط الخلية الجذعية الكثيرة الكنون بالكثير من الصفات، وإن كانت هناك بعض الاستثناءات التي لما تثبت أهميتها بعد. ومن السمات التقليدية لهذه الخلايا وجود الأنزيمات المِثْليّة من خميرة الفوسفات القِلْوية، وعامل الانتساخ (Oct4)[4] الذي ينتمي إلى مجموعة (POU) من العوامل الانتساخية، ونشاط مكثف لأنزيم التيلومريز (telomerase)، علاوة على السمات المميِّزة لسطح الخلية التي تتعرف إليها الأجسام المضادة الوحيدة النَّسيلة فيما يتصل بالمستضدات الجنينية المرحلية أو المستضدات "المتعرفة على الأورام" (انظر الجدول 4-1). وبرغم أن بعض هذه السمات ليست حكراً على الخلايا الجذعية، فإنها بمكانة كواشف يمكن من خلالها فصل الخلايا الجذعية الكثيرة الكنون مادياً عن مشتقاتها المُخلَّقة. ولما تتضح لنا بعدُ الأهمية الوظائفية أو الفسيولوجية لمعظم هذه السمات، باستثناء عامل الانتساخ (Oct4). وتشير دراسات مثيرة للاهتمام أُجريت على الخلايا السرطانية، والخلايا الجذعية، والخلايا الجرثومية الجنينية في الفئران وأجنتها إلى الدور البالغ الأهمية الذي يؤديه عامل الانتساخ (Oct4) في إنشاء و/ أو المحافظة على الخلايا الكثيرة الكنون وصفاتها المميزة لها. إن تخليق الخلايا الكثيرة الكنون مرتبط بتثبيط مستويات عامل الانتساخ (Oct4)، كما أن تثبيط جينة (Oct4) في الخلايا الجذعية الجنينية أو في الفئران يؤدي إلى تخليق الخلايا الكثيرة الكنون وفقدانها.

الجدول (4-1)

سمات الخلايا الجذعية الكثيرة الكنون

	الجذعية الجنينية	الجرثومية الجنينية	السرطانية الجرثومية
تجديد نفسها	إيجابي (+)	+	+
نمط النواة	عادي	عادي	مُفرط الصِّبغيات
العامل Oct3-4	+	+	+
أنزيم التيلومريز	مرتفع	مرتفع	مرتفع
مبدأ استبعاد هويشت	+	+	+
بصمة	+	ممحية	غير محددة
شكل الورم	+	+	+

المصدر: "Nature Insight: Stem Cells", *Nature*, 2001; Marshak et al., 2000.

إمكانات النمو

لقد تم اختبار إمكانات نمو الخلايا الكثيرة الكنون الخاصة بالفئران في ثلاث تجارب مستقلة:

- تَخَلُّق خارج الجسم في صِحافٍ بِتْريَّة (Petri dishes).
- تخلق إلى أورام أو أورام مِسْخِيَّةٍ عند زراعتها في فئران بالغة متوافقة الأنسجة أو مكبوتة المناعة.
- تخلق داخل الجسم عند وضعها بفجوة كيسة جرثومة في أجنة قبل زرعها في الرَّحم.

ويمكن الخلايا الجذعية الكثيرة الكُنون كافة أن تتخلق خارج الجسم في أنابيب مخبرية لتشكل أنواعاً مختلفة من الخلايا التي تمثل الطبقات المُنْتِشَةَ الثلاث الرئيسية في الأجنة. وعند زراعة الخلايا الجذعية الكثيرة الكُنون في فئران متوافقة الأنسجة أو مكبوتة المناعة فإنها تشكل أوراماً لا يمكن تمييزها من الأورام المِنْسَليَّة التي تم أخذ الخلايا السرطانية المضغية منها في الأصل. أما في الخرافيَّات فتسهم الخلايا الجذعية الجنينية والخلايا الجرثومية الجنينية الفأرية في أنواع الخلايا كافة، بما في ذلك الخط الجرثومي. وبالمقابل تستوطن الخلايا السرطانية الجنينية الفأرية المزروعة في الأجنة معظم السلالة

الجنينية، وإن كانت لا تستوطن عامة الخط الجرثومي، ماخلا ما أثبتته التجارب المخبرية؛ وهو استثناء واحد. إن عدم قدرة الخلايا السرطانية الجنينية على تشكيل خلايا مُنْتِشة وظيفية إنما يعكس على الأرجح تركيبتها النووية غير السوية. وبسبب المخاوف الأخلاقية لم تُجر اختبارات على رتبة الرئيسات (Primates) من غير الإنسان أو على الخلايا الجذعية الكثيرة الكنون عند الإنسان لمعرفة مدى قدرتها على الإسهام في نمو الأجنة في الأرحام. ولكن في تجارب أخرى مثل تجربة التخلق في المستنبتات وتشكل الأورام في الفئران ذات المناعة المُعدَّلة ثبت أنها تتوافق في تصرفها ونظيراتها الفأرية.

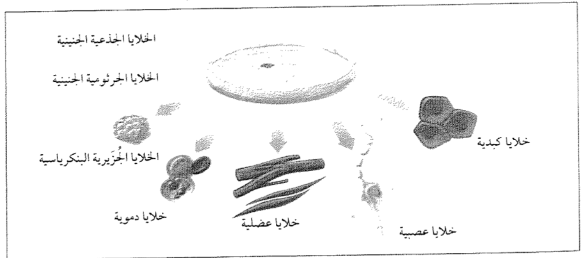
التخلق خارج الجسم

> إننا نقف ونمشي على أطراف من أجسامنا كان يمكن أن تُخصص للتفكير لو أنها نمت في مواضع أخرى من الأجنة.[5]

إن قدرة الخلايا الجذعية الكثيرة الكنون على أن تولد نطاقاً عريضاً من المشتقات المُخلَّقة هي بطبيعة الحال التي تجعلها ذات فائدة في سياق الحديث عن المعالجة المبنية على الخلية (انظر الشكل 4-4).

الشكل (4-4)

تحديات توجيه تخلق الخلايا الجذعية



ملاحظة: الخلايا الجذعية الكثيرة الكنون (الجذعية الجنينية والجرثومية الجنينية) المستنبتة قادرة على تشكيل كل أنواع الخلايا الموجودة في الجسم. وتواجه التجارب تحدياً يتمثل في توجيه الخلايا الجذعية نحو إنتاج أنواع الخلايا المرغوب فيها فحسب.

المصدر: Michael S. Linkinhoker.

وفي غياب عوامل قادرة على كبح التخلق أو كبته، فقد تم توجيه عملية تخلق الخلايا الجذعية الكثيرة الكُنون من خلال تعديل بيئتها بالتجارب التي تصيب أحياناً وتخطئ أحياناً أخرى في محاولة لمحاكاة بيئة النمو الطبيعية في الرحم. ويمكن تحقيق ذلك من خلال زراعة الخلايا الجذعية في كثافة عالية، أو زراعتها في أنواع مختلفة من الطبقات المغذية، أو إضافة عوامل نمو إليها، أو زراعتها في مادة حَليلَة خارج الخلية، سواء أكانت "خَامة" أم مُعرَّفة (انظر الشكل 4-5).

الشكل (4-5)

تخلق الخلايا الجذعية في ظروف استنباتية مختلفة



ملاحظة: يمكن بدء تخلق الخلايا الجذعية من خلال تغيير الظروف المُستنبتة. وتتضمن هذه التغييرات نمو الخلايا في المُستعلقات (خلافاً لنموها على طبقات مغذية تمنع تخلق الخلايا)، وإزالة الطبقات المغذية، أو تلك التغيرات في عوامل النمو في الوسائط.

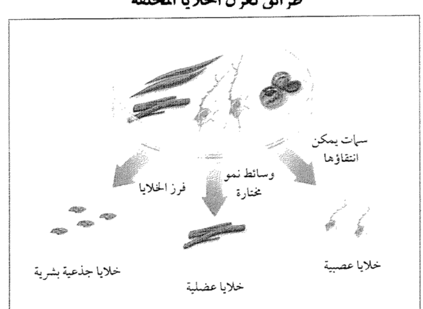
المصدر: Michael S. Linkinhoker.

ويتشكل في مثل هذه الظروف أنواع مختلفة وعشوائية من الخلايا المخلقة. وعند نموها في مُستَعلق تشكل الخلايا الجذعية الكثيرة الكُنون أجساماً مُضْغانِيَّةً، وهي البُنَى الموصوفة في الأصل في الأورام المِسْخِيَّة التي تشبه الأجنة إبان زراعتها. وفي تشكيل الأجسام المُضْغِيَّة قد تتخلق الخلايا الجذعية بطريقة تشبه ما يحصل في الأجنة. ويمكن اشتقاق أنواع مختلفة من الخلايا المخلقة بما في ذلك الوَحدات العصبية، والخلايا الدِّبْقيَّة، والخلايا القلبية العضلية، والخلايا العضلية الهيكلية، والخلايا الشَّحْمِيَّة، والخلايا المولِّدة للدم. ولابد من فرز أنواع الخلايا المخلقة عن بعضها بعضاً، وكذلك فرزها عن الخلايا

الجذعية. ويمكن القيام بذلك بطريقة تقليدية، ومنها فرز الخلايا بالطريقة الفَلْوريَّة إذا ما توافرت سمات سطح الخلية المناسبة، كما يمكن فرزها بطريقة النمو الانتقائي للخلايا المخلقة إذا ما توافرت ظروف استنباتية ملائمة، وقد يتم ذلك من خلال إدخال "واسم" منتقى يسهل عملية فرز الخلايا بالطريقة الفَلْوريَّة أو اختيار عقار ما لجذّ الخلايا الجذعية والخلايا غير المرغوب فيها (انظر الشكل 4-6).

الشكل (4-6)

طرائق لعزل الخلايا المخلقة



ملاحظة: ما إن يبدأ تخلق الخلايا حتى تُستخدم المنظومات الانتقائية لعزل خلايا مخلقة معينة. وهي تتضمن فرز الخلايا بحسب البروتينات على سطحها، ونموها في ظروف تدعم نوعاً معيناً من الخلايا، أو استخدام التحولات الجينية للخلايا والاستعانة بها في انتقاء أنواع معينة من الخلايا والسماح بنموها.

المصدر: Michael S. Linkinhoker.

ولكن، هل تشير نتائج الدراسات التي أجريت على الحيوانات إلى إمكانية استخدام الخلايا الجذعية الجنينية والخلايا الجرثومية الجنينية مصدراً للخلايا لتقويم الأنسجة المريضة أو المصابة أو معالجتها؟ لقد صدر الكثير من التقارير حول زراعة خلايا جذعية فأرية في فئران أو جرذان مريضة بأشد الأمراض الموهنة، أو مصابة بإصابات شديدة، وهي تشمل: إصابات الحَبل الشوكي[6]، وداء باركنسون[7]، ونقص المناعة،[8] والسكري.[9] وقد جاءت نتائج هذه الدراسات - التي تُجرى لتأكيد حقائق علمية - متوافقةً وفكرة أن المعالجات المبنية على الخلية يمكن أن تكون فعالة في معالجة الكثير من الأدواء. ولا يعني

ذلك أننا نفهم، أو نفهم كل الفهم أسس شفاء الحيوانات، أو أننا نعرف تمام المعرفة أكثر السبل فاعلية لاستخدام الخلايا في المعالجات، أو أننا تيقنا تماماً من أن هذه المنهجية خالية من المخاطر. غير أن النتائج مشجعة خاصة وأن الحيوانات أظهرت تحسناً بعد العملية الترقيعية الخلوية، كما أننا نملك أدلةً الآن على أن الخلايا ستؤدي وظائفها المعتادة في أجسام الحيوانات. ولم تُجر إلا تجارب قليلة جداً على الخلايا البشرية، وربما كان مرد ذلك إلى حقيقة أن الخلايا البشرية نفسها لم تكن متاحة إلا منذ عهد قريب. وهناك تقارير غير منشورة حول تجارب مماثلة على الخلايا الجذعية الجنينية والخلايا الجرثومية الجنينية البشرية، وهي مطابقة لما ذكرناه سابقاً.

الاهتمامات الحالية لدراسات الخلايا البشرية

في ظل ما يتم إنجازه الآن في مجالات عدة من علم أحياء الخلية الجذعية فإن هناك اهتماماً خاصاً بجوانب معينة نناقشها لاحقاً.

ظروف المستنبتات الخلوية

خطوط الخلايا المستخدمة حالياً مستمدة من خلايا تولد عناصر النمو أو المواد الحليلة الضرورية لبقاء الخلايا الجذعية وموضوعة في طبقات مغذية. أما الطبقات المغذية فمستمدة عامة من أنسجة جنينية فأرية ومستخدمة في مستنبتات الخلايا الجذعية الفأرية التي قد تمَّ استخدامها مع الخلايا البشرية. وتبذل الآن جهود حثيثة لتطوير طبقات مغذية بشرية، أو طبقات مغذية "أفضل"، أو مستنبتات خلايا بشرية خالية من الطبقات المغذية.

وتثير الطبقات المغذية "البَيْنَوعية" شيئاً من القلق حيث من المحتمل أن تنقل فيروسات باطنية إلى الخلايا البشرية، وهذا قد يشكل خطورة على الجسم المُسْتَقبِل. وفي الواقع ترى هيئة الغذاء والدواء (FDA) الأمريكية أن جمع الخلايا البشرية النامية مع خلايا حيوانية إنما هو عملية ترقيعية غَيْرية، فارضةً عليها قيوداً أشدّ صرامةً إذا ما كانت هناك نية لاستخدامها على البشر. لذا، من المفضل أن يكون لدينا طبقات مغذية في شكل

خلايا بشرية لتجنب إثارة مخاوف السلامة المرتبطة بانتقال الفيروسات الباطنية الآنفة الذكر. ومادام استنبات خلايا جذعية بشرية على طبقات مغذية غير بشرية يُعدُّ عمليةً ترقيعيةً غَيْرِيةً – وهي العملية التي تفرض عليها هيئة الغذاء والدواء الأمريكية اختبارات صارمة عند استخدامها على البشر – فمن المفضل أن نتجنب هذا الخيار في المجمل.

أما البحث عن طبقات مغذية "أفضل" فقد كان جزءاً من دراسات الخلايا الجذعية الجنينية والخلايا الجرثومية الجنينية. أما قصدنا بكلمة "أفضل" فهو التوصل إلى طبقات مغذية تتيح إتمام مستنبتات نشيطة من دون مؤشرات تُذكر على تخلق الخلايا بطريقة عشوائية. والأهداف السابقة نسبية وليس لدينا الآن رؤية واضحة عن غايتنا في نهاية المطاف. فمثلاً يتم الانتقاء في أثناء الاستنبات بينما قد تفقد الخلايا المنقسمة بسرعة فائقة بعض السمات المرغوب فيها في الخلايا الجذعية. وقد يحدث عن غير قصد أن يتم توليد عدد من الخطوط الفرعية للخلايا خلال الاستنبات مع قدرات مُغَيَّرة على التخلق والنمو في المُسْتَعْلقات وما إلى ذلك.

إن وجود الطبقات المغذية في المستنبتات يخالف دراسات الخلية الجذعية المستنبتة السابقة ويؤكد أهمية خلفية الخلايا نفسها. وتُبذل الآن جهود لتحديد أهمية الطبقات المغذية؛ وتحديداً، أهي ضرورية كرابطة مادية أم تراها تولد عوامل نمو معينة، أم أنها تجمع بين الاثنين فيسهل هذا نمو الخلايا الجذعية؟ ولابدّ أن نتمكن في نهاية المطاف من طلاء صفيحة الاستنبات بالمادة الحليلة المرغوب فيها وتوفير عوامل النمو إما في الوسيط نفسه أو بربطها بالمادة الحليلة فيمكننا هذا من الاستعاضة عن الطبقات المغذية. وستمثل المستنبتات النشيطة الخالية من الطبقات المغذية نقلةً نوعيةً في هذا المجال.

وتُعتمد الأمصال الحيوانية في معظم المُستنبتات؛ حيث تثبت على الوسائط المستخدمة. وهذا يسبب بعض المشكلات في التجربة وخاصة في ضوء المحاولات المبذولة للسيطرة على تخلق الخلايا أو تنظيمها؛ حيث إن الأمصال تتباين من فئة إلى أخرى، وإن كانت منتقاة بعناية فائقة لنمو الخلايا الجذعية الجنينية. وبات ضرورياً أن نطور وسائط مُحدَّدة بدقة (ونعني بذلك الوسائط الخالية من الأمصال) مع إضافة العوامل الضرورية

الخارجية المنشأ بحيث نتمكن من اكتشاف دور العوامل المختلفة وتركيباتها في عملية تخليق الخلايا. ويهتم العلماء الآن بمعرفة العوامل الحَرجة في الأمصال الحيوانية.

اشتقاق خطوط خلية جديدة

يواصل العلماء والأطباء اشتقاق خطوط خلية جديدة لأسباب عدة. فكل خطوط الخلية المستخدمة حالياً – على سبيل المثال – مشتقة بمصاحبة طبقات مغذية فأرية، فلابد من إنتاج خطوط جديدة على طبقات مغذية بشرية وهذا يزيل المخاوف من انتقال الفيروسات. ويرى بعض العلماء أن اتفاقيات انتقال خطوط الخلايا المعمول بها حالياً، وهي – اتفاقيات رسمية تحدد شروط الحصول على خطوط خلايا من مؤسسات أو جهات أخرى – صارمة أكثر مما يجب وهم يرغبون حقاً في الحصول على خطوط خلية خاصة بهم. ويرى علماء آخرون أن خطوط الخلية الحالية لا توفر تنوعاً كافياً فيخلق هذا حاجةً ملحةً إلى خطوط خلايا جديدة. ويشعر بعض العلماء بشيء من القلق إزاء جودة خطوط الخلية الحالية بعد أن يطرأ عليها تحولات متعاقبة (انظر لاحقاً) منادين بأهمية وجود خطوط خلايا جديدة. أما في الولايات المتحدة الأمريكية فإن خطوط الخلايا كافة التي أنتجت بعد الساعة التاسعة من مساء يوم الخميس 9 آب/ أغسطس 2001 غير مؤهلة للحصول على أي تمويل فيدرالي.

صفات الخلية الجذعية

إن من سمات الخلايا الجذعية – كما أشرنا سابقاً – انقسامها وتخلقها، وهذان الأمران هما الصفتان اللتان يشار إليهما بـ "الجذعية". وقد قام العلماء تباعاً بإعداد قائمة تضم صفات الخلايا الجذعية الجنينية والخلايا الجرثومية الجنينية؛ وذلك وفق معطيات معينة، تشمل مُستضدات عدة، وواسمات كيميائية حيوية، وبعض الجينات المُترجَمة، واحتمالات النمو. وهنالك الآن توجه قوي نحو تعريف "الجذعية" جُزيئياً، من خلال مبحث البروتين ومبحث الجينوم. لذا، تسعى مختبرات عدة الآن لطرائق ترجمة الجينات وتشكل البروتينات في خطوط الخلية الجذعية المختلفة ومقارنتها، ومن ثم تحديد المجموعات الجينية التي يمكن أن تعرف الخلايا الجذعية. وهذه المعلومات مهمة من أجل التسريع في

تحديد احتمال كون أي من الخطوط الجديدة خلايا جذعية بالفعل أو لا، ومن أجل مراقبة تخصص الخلايا وتخلقها إلى سلالات محددة، ومن أجل مراقبة إعادة برمجة الخلايا المخلقة أو النوى إلى حالة أكثر جنينية، وأخيراً من أجل هندسة الخلايا لتصبح خلايا جذعية.

تطوير إجراءات تخليقية ذات فاعلية فائقة

لقد كشفت الإنجازات المهمة في مجال علم أحياء الخلية وعلم الأحياء التطوري وعلم الأجنة الجزيئي إلى حدٍّ ما الآليات المرتبطة بتخلق الخلايا، ونحن نستفيد من هذه المعلومات الآن في محاولاتنا للتأثير في تخلق الخلايا الجذعية في المستنبتات وتعزيزها وتوجيهها وانتقائها. ويتم ذلك في العادة من خلال ضبط بيئات النمو، كما ذكرنا سابقاً، أو محاولة ضبط ترجمة الجينات ذات الدور البالغ الأهمية في بدء سلالة جينية تخلقية معينة أو ضبط/ تنظيم مراحل عملية التخلق. وبرغم تمكننا اليومَ من التأثير تأثيراً بالغاً في تخلق أنواع معينة من الخلايا، وخاصة في الجهاز العصبي المركزي، فإننا لن نتمكن في القريب العاجل من ضبط عملية التخلق لنضمن إنتاج نوع واحد من الخلايا بكميات كبيرة. أما بالنسبة إلى السلالات الأخرى فَتُبذل جهود حثيثة الآن كي نتمكن من تعزيز تخليق الخلايا كما هي الحال عليه في الخلايا الكَبِدِيَّة على سبيل المثال.

وعند تطوير إجراءات لتوليد الأنواع المرغوب فيها من الجينات في المستنبتات، يبرز سؤال مثير للاهتمام وهو: هل علينا أن نعوِّل على ما يحدث في الطبيعة أو أن أمامنا أكثر من طريقة للحصول على الخلايا ذات الوظائف المرغوب فيها؟

موثوقية الخلايا المشتقة

من المخاوف الرئيسية التي تلازم الاستراتيجيات المعتمدة للحصول على الخلايا المُخلقة في المستنبتات من خلايا جذعية احتمال كون الخلايا المنتجة موثوقاً بها فعلياً أو لا. وبتعبير آخر، هل تملك هذه الخلايا الصفات نفسها التي تملكها الخلايا في حالتها الطبيعية؟ وما المعايير التي تمكننا من الحكم على الخلايا المستنبتة ووظائفها؟ أمن المهم أن تكون الخلايا المستنبتة مماثلة لمثيلاتها في الطبيعة؟ وهل يعطينا تقويمنا لما يجري في الصفيحة الاستنباتية أي فكرة عن الوظائف الفعلية للخلايا عند نقلها إلى عضو أو نسيج حي ما؟

لقد بدأنا نتعلم بعض الإجابات على هذه الأسئلة، ولكن شيئاً فشيئاً، من خلال المنهجية التجريبية، ومن الواضح أننا لن نسبر غور كل شيء في الغد القريب.

مصادر الخلايا الجذعية المختلفة: المقارنة والمقابلة

من القضايا المثيرة للاهتمام بالنسبة إلى علماء أحياء الخلية (وصناع السياسة) مقارنة مصادر الخلايا الجذعية من أوجه مختلفة. والقضية التي هيمنت على المناقشات الحالية هي إمكانية النمو (ونقصد بذلك أنواع الخلايا المختلفة التي يمكن اشتقاقها من مصدر خلايا جذعية معين). ولم يُعط اهتمام يُذكر لقضية إذا ما كانت الخلايا وظيفية، وإذا ما كانت أنواع الخلية المختلفة قد استمدت من خلية واحدة (مقارنةً بجميعة ذات خلايا مختلطة) أو لا، ووتيرة توليدها، وإمكانية تكاثر الخلايا في المستنبتات. هذه القضايا كلها - في حقيقة الأمر - مرتبطة باستخدام هذه المصادر للمعالجات وسنقوم بمراجعتها في نهاية هذا الفصل. ومن المهم أن نقارن الخلايا الجذعية مع بعضها بعضاً لتحديد الخلايا الأكثر فاعلية لتحقيق الأهداف المنشودة. ويبدو أن هذه القضية قد بدأت تستحوذ على اهتمام أكثر فأكثر في المختبرات العلمية.

الخلايا الجذعية وخطوط الخلايا الجذعية: معدل التحولات ووتيرتها وأنواعها

مع انقسام الخلايا تحدث تحولات طارئة في الجينات (تُسمى أحياناً التغيار الجيني) بوتيرة معينة، وهي تتراكم شيئاً فشيئاً. وإذا ما استنبتت الخلايا لمئات الجميعات المزدوجة، فإن "الحمل الجيني" لهذه الخلايا سيؤثر في نهاية المطاف في صفات الخلايا الجذعية لهذه الخلايا. وهذا قد يؤدي إلى عدم تخلق خطوط الخلايا بطريقة ملائمة، وقد يحدث تغيرات تجعلها مُولِّدة للأورام عند نقلها. وقد جاء في تقرير أُعِدَّ حول وتيرة التحولات وأنواعها في الخلايا الجذعية الجنينية الفأرية أن وتيرة التحولات كانت أقل منها في الخلايا الجسدية، غير أن أكثر أنواع التحولات شيوعاً أدى إلى فقدان الجينات الكابحة للأورام.[10] ولابد من إجراء هذه الدراسات على الخطوط الخلوية البشرية، وإذا ما تم التوصل إلى نتائج مشابهة لتلك الخاصة بالفئران، فإن ذلك يؤكد الحاجة إلى اشتقاق خطوط خلوية جديدة.

الدراسات الترقيعية لاختبار وظائف الخلية وتقويم مخاوف السلامة

دراسات الجراحة الترقيعية في الحيوانات ضرورية للتأكد من تأدية الخلايا المنقولة من مكانها الأم ولتقويم الخلايا المرقّعة والطرائق الترقيعية بهدف ضمان سلامة المرضى المعنيين. وعلى حين أن الحيوانات التي تُجرى عليها الدراسات ربما لا تشبه الإنسان في أمراضها وعللها وإصابتها، فإنها تمثل أفضل طريقة لتقرير احتمال كون الخلايا المأخوذة لمعالجات مبنية على الخلية تؤدي وظائفها كما يجب أو لا، واحتمال كونها سليمة عند إجراء عملية مماثلة على بني البشر أو لا. ولابد من أن نحدّد تحديداً واضحاً الهدف من هذه العملية. فهل نحن نجري تجارب الجراحة الترقيعية لاختبار قدرة الخلايا على التخلق في مخلوق يمر بمرحلة تطورية؟ قد يعني ذلك - على سبيل المثال - وضع خلايا بشرية في حيوان يشهد تطوراً (أي في أنسجة جنين أو عند حديث الولادة) بحسب الأنسجة المعنية. وهل نهدف من ترقيع المواضع المصابة أو المريضة بخلايا معينة إلى استعادة الوظائف المفقودة؟ إن وظائف الخلايا تختلف اختلافاً واضحاً من كائن حي إلى آخر.

ولابدّ من تحديد المرحلة المثالية لتخلق الخلية والمناسبة - من ثم - للجراحة الترقيعية. فهل من الممكن إجراء جراحة ترقيعية لخلايا أولية أو خلايا متخلقة جزئياً أو كلياً؟ وما الطريقة المثلى لأخذ الخلايا من المكان الأم ونقلها إلى المكان البديل؟ لن تتم الإجابة على هذه الأسئلة إلا من خلال التجربة، وقد تختلف الإجابة من سؤال إلى آخر باختلاف المرض أو الإصابة.

قضايا السلامة

أكثر ما يثير القلق عند الحديث عن تطبيق تقنية الخلية الجذعية هو سلامة المرضى. فالخلايا التي تُزرع في المرضى يجب ألا تعالج المريض فحسب بل يجب أيضاً ألا تعرض حياته إلى الخطر في حال لم تؤدِ المهمة المطلوبة منها. وتبرز مخاوف السلامة من حقيقة طبيعة الخلايا الجذعية نفسها ودورها في المعالجة المبنية على الخلية. إن قدرة الخلية على الانقسام إلى ما لا نهاية في صفيحة من السمات المهمة جداً للحصول على عدد كبير من الخلايا للتجارب الخاصة بدراسة تخلق الخلية، وتعديل الخلايا وراثياً، وإنتاج خلايا كافية للتجارب الترقيعية. غير أن ذلك قد يكون له تبعات رهيبة بعد إتمام عملية الزراعة في

جسم المريض. إن الخلايا الجذعية الجنينية والخلايا الجرثومية الجنينية – كما ذكرنا سابقاً – وعند زراعتها بطريقة مُتَبِذةٍ في الدراسات الفأرية، تسارع إلى تشكيل أورام متنامية، وهي ما يُعرف بالأورام المِسْخِيَّة. وقد اكتشفت هذه الأوارم في الدراسات الترقيعية الأولى في الفئران، بعد أن اعتمد العلماء استراتيجية معيبة باختيارهم الخلايا العصبية المستمدة من الخلايا الجذعية. وقد تضمنت الخلايا المزروعة الخلايا الجذعية الفعلية. ولابد من إجراء دراسات سلامة للتأكد من أن الطرائق المعتمدة لإنتاج الجميعة الخلوية القيِّمة للمعالجات المبنية على الخلية لن تؤدي إلى وجود خلايا منتجة للأورام. وهناك استراتيجية إضافية محتملة للتأكد من عدم وجود خلايا وَرَمية، وهي استراتيجية وقائية تلقائية تقوم على تعديل الجينات وراثياً بحيث تموت بنفسها إذا ما ظلت تترجم (أو تعيد ترجمةَ) جينات معينة لا تُترجم إلا في الخلايا الجذعية.

وهناك مخاوف سلامة أخرى مرتبطة بتخلق الخلايا الترقيعية تخلقاً ملائماً وكاملاً ووصول الخلايا الترقيعية إلى الموقع المستهدف. ومن الصعب أن نتنبأ باستجابة الخلايا عند وضعها في بيئة مختلفة اختلافاً تاماً عن الصفيحة الخلوية المستنبِتة أو في بيئة "طبيعية" في الأنسجة. والهدف من الجراحة الترقيعية الخلوية هو استعادة وظائف الخلايا المريضة أو المصابة، وهي البيئة التي لا نعرف شيئاً يُذكر عنها. إن البيئة الخلوية – كما ذكرنا سابقاً – توفر عوامل نمو وإشارات مهمة جداً لا بما يتعلق بتعليمات تخصص الخلايا بوظائف معينة فحسب، بل بما يتعلق ببقائها أيضاً. ولابد من اختبارات كافية على الخلايا الترقيعية لضمان أن الخلايا تتصرف بطريقة ملائمة.

لابد من دراسة سبل وصول الخلايا الترقيعية إلى مواقعها المستهدفة إذا ما أردنا – كما ذكرنا آنفاً – أن نضمن زراعة الخلايا القابلة للحياة في مواضعها من دون أي معاناة. ولكن، قد تهجر الخلايا مواضعها بعد زراعتها فيسبب هذا موقفاً خطيراً، لأنها قد تتخلق بطريقة مختلفة بعد أن تجد نفسها في بيئة جديدة عليها، أو لأنها قد تواصل تخلقها في السلالة المرغوب فيها ولكن في موضع مختلف وعندئذ تكون هذه الخلايا ضارة ومؤذية.

وللأسباب المذكورة سابقاً مجتمعةً تبدو دراسات السلامة ضرورة مطلقة. ويتعين على الجهات الطبية المختصة القائمة على هذه القضية أن تقرر مدى التجارب التي ستُجرى

لضمان السلامة. ومن المرجح أن تكون قراراتها مبنية على كل علة أو إصابة بعينهـا، ولابـد من تقويم التبعات والمخاطر المَرَضِيَّة لقاء المنافع المتوقعة. ويتعين على العلماء والأطباء في المرحلة التجريبية أن يكونوا مستعدين لتتبع كل الخلايا المزروعة في النماذج الحيوانية لفترات ممتدة. وقد أدى ذلك إلى تركز اهتمام الدراسات الجارية حالياً على وضع "وَسْمَة" تميز الخلايا الترقيعية لأشهر (وربما لأعوام) ويمكن استبانة كل خلية من خلالها، على أن تتصف بأنها غير سامة للخلايا، وتتيح التقاط صور آنية للخلايا، وهذا يغنينا عن الحاجة إلى إجراء تجارب على عدد كبير من الحيوانات بتوفيره نقاطاً زمنية كافية للدراسات التحليلية التشريحية. كما ستثير دراسات السلامة جدلاً حول ملاءمة النماذج الحيوانية المختلفة، والفترة الزمنية اللازمة لتقويم العمليات الترقيعية، وإذا ما كانت هناك حاجة إلى إجراء دراسات على رتبة الرئيسات من غير الإنسان.

ومن المتوقع أن تكلف التجارب الضرورية لإظهار السلامة المعالجات القائمة على الخلية أموالاً طائلةً وأن تستغرق وقتاً طويلاً. ولذا فإن المضامين السريرية لمثل هذه المعالجات - حتى في حال توافر الخلايا الملائمة - مازالت غير محسومة، بينما قد يكلف حسمها تكلفة بالغة.

تجنب الاستجابة المناعية للخلايا المرقعة

يجب بعد انتهاء العملية الترقيعية أن تندمج الأنسجة والخلايا وتؤدي وظائفها، والأهم من هذا ألا يرفضها جهاز المناعة في الجسم المستضيف، أي جسم المريض. وما لم تكن الخلايا في الأصل مأخوذة من المريض نفسه أو من أحد أقاربه المقربين، فإن العمليات الترقيعية تثير جهاز المناعة الذي يستجيب بدوره للخلايا المرقعة. ويمكن اعتماد استراتيجيات عدة لتجنب رصد جهاز المناعة للخلايا الترقيعية المأخوذة من مصادر جِذْعية جنينية. وسنناقش هذه الاستراتيجيات لاحقاً، وهي تتضمن كبح الاستجابة المناعية في الجسم المستضيف أو تغييرها من خلال استعمال العقاقير أو الاستباق بإعداد الجسم المستضيف بحيث لا يقاوم الخلايا الترقيعية، أو من خلال إحداث تغييرات جينية في الخلايا لتقليل احتمالات حدوث ردة فعل مناعية، أو من خلال اعتماد طريقة جديدة

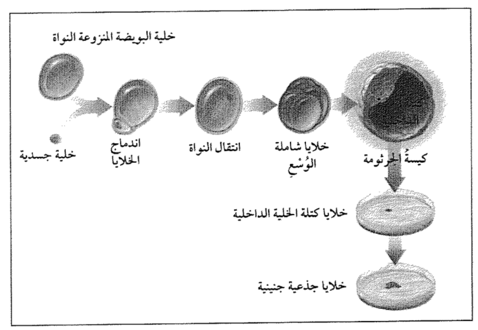
تُسمى نقل نواة الخلية الجسدية التي يتم وفقها اشتقاق الخلايا الجذعية الجنينية مع جينات المريض واستخدامها للحصول على الجينات اللازمة للعملية الترقيعية.

نقل نواة الخلية الجسدية والخلايا الجذعية

سنناقش تقنية نقل نواة الخلية الجسدية بشكل مفصل لأنها تثير الآن نقاشاً حاداً فضلاً عن تأثيرها المهم في الأبحاث. ويشارُ أحياناً إلى تقنية نقل نواة الخلية الجسدية باسم الاستنساخ العلاجي (مقابل الاستنساخ التكاثري)، واستنساخ الأجنة، والاستنساخ البحثي، ودراسات انتقال النواة (انظر الشكل 4-7).

الشكل (4-7)

نقل نواة الخلية الجسدية



ملاحظة: في تقنية نقل نواة الخلية الجسدية يتم إدخال نواة خلية مأخوذة من مريض في بويضة منزوعة النواة. ثم تمر الخلية المتشكلة من فعل ذلك في المراحل التطورية المبكرة من تشكل الجنين؛ حيث تتشكل كيسة جرثومة يتم عزل كتلة الخلية الداخلية فيها ويؤخذ منها الخلايا الجذعية، كما في الشكل (4-2). وتتسم الخلايا الجذعية الناتجة بأنها تحمل الجينوم النووي للمريض.

المصدر: Michael S. Linkinhoker.

وسوف تطلق الأنسجة المأخوذة من الخلايا الجذعية الجنينية مُستضدات مماثلة نسيجياً؛ ولذا فإنها ستصدّ إذا ما رُقِّعت في جسم مختلف جينياً. وتُعد هذه عقبة أساسية ولابد من التغلب عليها إذا ما أردنا أن يكون للخلايا الجذعية فوائد علاجية حقاً. من الناحية النظرية، هناك خيارات عدة يمكن النظر فيها للتغلب على مشكلة المماثلة النسيجية، وهي: كَبْتُ المناعة الدائم، وتحفيز "إطاقة" العملية الترقيعية، وبنوك ضخمة لأنسجة الخلية الجذعية للمطابقة، والتحولات الجينية (الاستهداف) لجينات الموافقة النُّسجية في الخلايا الجذعية الجنينية والخلايا الجرثومية الجنينية، ونقل نواة الخلايا الجسدية. وقد تسبب عقاقير كبت المناعة بعض المشكلات، وهذا قد يسبب مضاعفات خطيرة مع احتمالات تهدد حياة المتلقي. كما لما تَثْبُت بعدُ فاعلية الكثير من طرائق تحفيز "إطاقة" العملية الترقيعية. أما احتمالية اشتقاق خطوط خلايا جذعية مختارة ذات أنماط جينية/ أنماط فَرْدانِيَّة ملائمة لمطابقة مقاطع واسعة من جميعة معينة - وإن كانت ممكنةً من الناحية النظرية - فإنها تتطلب مئات الخطوط الخلوية لتغطية ما نسبته 75٪ فحسب من الجميعة. وتبدو تكلفة هذه العملية ومستلزماتها ومتطلباتها مهولة. وفي حقيقة الأمر، تعد هذه المسألة إحدى الحجج المهمة التي يطرحها أنصار الخلايا الجذعية الكثيرة الكُنون المستمدة من دم الحبل السُّرِّي؛ حيث أضحى مصدر الحبل السُّري صناعةً مهمةً بينما تم تخزين مئات الألوف منها فعلياً. وبطبيعة الحال فإن القضية الرئيسية هنا هي مدى صحة الادعاءات بأن الخلايا المستمدة من الحبل السُّري هي كثيرة الكنون بالفعل. ومن الأمور التي مازالت شيئاً من الخيال إجراء تعديلات جنينية على جينات الموافقة النُّسْجِيَّة الرئيسية إما لإدخال تسلسل الدَّنا الخاص بمريض ما في الخلايا الجذعية، أو لتعديلها وهذا يجعل الجينات أقل "استمناعاً" بإيجاز أو استثارةً للمناعة.

إن قضية الموافقة النُّسجية ستحدُّ من استخدامات أنسجة الخلايا الجذعية الجنينية والخلايا الجرثومية الجنينية إلى حد بعيد وستحصرها في عدد محدود من المرضى، ولاسيما أولئك الذين يتوافقون جينياً مع الخطوط الخلوية الحالية للمعالجة، وأولئك الذين في وسعهم أن يتحملوا كَبْتَ المناعة مدى الحياة. ويؤكد الذين يؤيدون استخدام الخلايا الجذعية المستمدة من الأنسجة البالغة على هذه النقطة لأنها تشكل قيداً مهماً على المصادر الجنينية للخلايا الجذعية.

وليس مستغرباً بعد هذا كله أن يلقى استخدام خطوط الخلايا الجذعية الجنينية المستمدة من عملية نقل نواة الخلايا الجسدية؛ حيث تملك الخلايا الهوية الجينية (الجينات النووية) للمتبرع (أو المريض). ويُستعمل الآن الكثير من المسميات والمصطلحات لوصف عملية نقل نواة الخلية الجسدية، ولبعضها بعض الإيحاءات السلبية، ومنها الاستنساخ العلاجي، والاستنساخ لأغراض بحثية، والاستنساخ التجديدي، والنقل النووي، والزراعة النووية.

وفي الواقع هناك براهين عدة على فاعلية هذه المنهجية في الدراسات الفأريَّة والبقريَّة؛ إذ لم تُرْفَض الأنسجة المولدة من خلايا جذعية جنينية بعد عملية نقل نواة الخلية الجسدية في أثناء العملية الترقيعية. ولنتخيل معاً القصة الآتية: لنفترض أن مريضاً يعاني مرضاً ما (وليكن أياً من الأمراض التي لا تسبب تهديداً آنياً على حياة المريض) قد تُجرى له عملية خِزْعَة نسجية غير انتهاكية (مَسْحَة شِدْقِيَّة) للحصول على خلايا؛ بحيث يتم إدخال النوى فردياً إلى بويضة منزوعة النّوى، وعلى أن يتم أخذ خطوط الخلية الجذعية الجنينية من كيسة الجُرثومة الناتجة. ومهما كان نوع الخلية التي يحتاج إليها مريض ما، فإنها تنمو في مُستنبت من الخلايا الجذعية، ومن ثم يتم إدخالها في جسم المريض بهدف المعالجة.

وعلى حين تم استغلال قضية المناعة ورفضها للأجسام الغريبة كواحدة من أهم الحجج للترويج لاستخدام تقنية نقل نواة الخلايا الجسدية، فإن هناك الكثير من الحجج الأخرى المهمة لتأييد هذه التقنية.

وفي ثقافة متحسسة من قضايا التنوع يبدو مهماً أن يتم تضمين خطوط الخلايا المستمدة من مصادر جينية مختلفة ومتنوعة في دراسات الخلية الجذعية إذا ما أردنا حقاً أن نستفيد جميعاً من دراسات الخلية الجذعية. لقد شاع استخدام التقنيات التكاثرية المساعدة وهي تُعد الآن من مصادر الأجنة المتبرع بها لأخذ الخلايا الجذعية منها. غير أن هذه التقنيات مقصورة على مجموعة ضيقة من البشر من خلفيات جينية وعرقية وإثنية محدودة. ويمكن استخدام تقنية نقل نواة الخلايا الجسدية بطريقةٍ فعالةٍ لتوليد خطوط خلايا متنوعة إلى حد بعيد، قد تثبت فائدتها في عمليات المطابقة النسجية ومن أجل الكشف عن الفروقات في "مُتغيرية الآليات الجينية" في المرض وعلم الأحياء التطوري.

وقد تكون التقنية التكاثرية المساعدة وسيلة فعالة من أجل توليد خطوط الخلايا الجذعية لتسهيل دراسة الأمراض الوراثية. وقد تم التعرف إلى العوامل الجينية التي تزيد خطر الإصابة ببعض الأمراض عندما يحمل المصابون بالمرض وحدهم كل المغايرات الجينية للمرض. وقد يُستعان بالتقنية التكاثرية المساعدة في تطوير خطوط وكواشف قيمة لدراسة أمراض عدة تعود إلى مجموعات معينة من العوامل، وهي تشمل الأمراض التوليدية العصبية، والتَصَلُّب المُتعدد، والسكري، والأمراض القلبية الوعائية. ولن تبحث مثل هذه الدراسات في تولد المرض فحسب، بل ستساعدنا في تعريف العوامل الجينية المصاحبة للإصابة بمرض ما. ومن الاستخدامات المثيرة للاهتمام لهذه الطريقة ما تم تحقيقه في الفئران؛ حيث تم تقويم العيوب الجينية للعوز المناعي في الخلايا الجذعية من خلال التقنية التكاثرية المساعدة، بينما تم استخدام الخلايا الجذعية المقومة لإنقاذ الفأر المعيب الذي أخذت منه الخلايا المتبرع بها.

ويصعب الآن دراسة الأسباب الجينية للجوانب غير السوية في نمو الإنسان، وخاصة تلك المرتبطة بمراحل النمو المبكرة؛ حيث إننا قلما نملك أنسجة جنينية بشرية تظهر الطَفْرات أو التحولات الجينية. ولكن يمكن من خلال تقنية نقل نواة الخلايا الجسدية أن نولِّد خطوطاً معينة قد تكون قيمة في تحليل آليات النمو المبكرة للأنسجة والخلايا.

وتؤدي طفرات الخلايا الجسدية أو تحولاتها دوراً حاسماً في أنواع السرطان البشرية المختلفة بالإضافة إلى دورها في أمراض أخرى. ويمكن أن تكون نوى الخلايا المريضة مصدر خطوط الخلايا الجذعية باعتماد تقنية نقل نواة الخلايا الجسدية. ويمكننا من خلال استخدام هذه الخطوط أن نفهم كيفية عمل الجينات المتحولة أو المتغيرة وكيف أنها تدفع الخلايا السليمة إلى تشكيل السرطانات.

وأعتقد - في المدى البعيد - أن دراسات تقنية نقل نواة الخلايا الجسدية ستؤدي إلى اكتشافات مهمة ستمكننا من إعادة برمجة الخلايا البالغة لتصبح خلايا جذعية، والتي يمكن تخليقها بعد ذلك إلى أنواع الخلايا المرغوب فيها؛ ومن ثم استخدامها في المعالجات.

وكما تبين من حالات الثدييات المستنسخة المعلن عنها، سواء أكانت طبيعية أم غير ذلك، فإن سيتوبلازم البويضة يضم العوامل المسؤولة عن إعادة البرمجة الجينية للنواة من خلايا مخلقة إلى خلايا جنينية. وما إن نتعرف إلى هذه العوامل وآلية عملها حتى نكون عندها قادرين على إعادة برمجة الخلايا، في الصفيحة أو في الجسم الحي.

وخلاصة القول اتضح أن المنافع الطبية المحتملة لتقنية نقل نواة الخلايا الجسدية/ تقنية الخلايا الجذعية عظيمة. ومادام التنبؤ بمسار العلوم يصعب علينا في المدين البعيد والقريب (إذا ما أخذنا بالحسبان السذاجة العامة في تقويم تأثير الاكتشافات المهمة السابقة)، فإنه ليس في وسعنا الآن أيضاً أن نقوم مدى المنفعة الحقيقية لتقنية نقل نواة الخلايا الجسدية. وفي النقاشات التي دارت حول تقنية نقل نواة الخلايا الجسدية لم يُعط اهتمام يُذكر إلى أهمية إنشاء ملكية فكرية في هذا المجال، وتطوير تقنيات جديدة واستخدامها في إطار هذه الملكية الفكرية، وتأثير هذه الدراسات في حشد فِرَق العلماء لإنجاز مشروعات بعينها، وجذب الجيل المقبل من العلماء للعمل في هذا المجال، واستثمار الأموال والموارد فيه.

وإذا كنا قد تحدثنا عن المنافع الطبية المحتملة لتقنية نقل نواة الخلايا الجسدية بالنسبة إلى الخلايا البشرية، فإن لنا أن نتساءل عن المخاوف المثارة حول هذه القضية. وقبل أن نوسِّع هذا المبحث من الأفضل أن نلقي نظرة على بعض المخاوف العملية المرتبطة بهذه التقنية، ونقصد المخاوف البيولوجية والمخاوف المجتمعية معاً. من الناحية التجريبية لما نعرف بعدُ مدى صعوبة إنتاج كيسة الجرثومة - بالاستعانة بتقنية نقل نواة الخلايا الجسدية - ببويضات بشرية. إن وتيرة النجاحات المتحققة ستؤثر تأثيراً بالغاً في هذا المجال البحثي. ومن الأمور الأخرى التي تشغلنا توافر البويضات البشرية والحصول على الموافقات الضرورية. لقد نُشرت في الصحافة أخبار حول عمليات ناجحة لإنتاج أجنة بشرية، غير أن هذه الأخبار لم تلق تأييداً أو دعماً في دوريات علمية، ومن الصعب تقويم البيانات المنشورة.

كما يتعين علينا أن نحسم بعض القضايا العملية المتعلقة بإمكانية تجنب الاستجابة المناعية للخلايا الترقيعية. لقد ثبت أن هناك بعض مستضدات المُوافَقَة النُسُجية الصغيرة

(الجينات) في القوارض ذات طبيعة حُبَيْبِيَّة خَيطيَّة. وتُترجم البروتينات المشفرة جينياً في الحُبَيبات الخيطية على سطح الخلية وهي تؤدي إلى رفض العملية الترقيعية في القوارض. ومادامت تقنية نقل نواة الخلايا الجسدية تغطي الجينات النووية فقط، فإنه من الممكن أن تؤدي المستضدات المشفرة بطريقة حُبيبية خيطية إلى رفض العملية الترقيعية للخلايا البشرية.

وعلاوةً على ذلك، قد يستغرق استخراج الخلايا الجذعية من أجنة تقنية نقل نواة الخلايا الجسدية وإنتاج أنواع الخلايا المخلقة المستخدمة في العملية الترقيعية عاماً، وهذا يقلل أنواع العلل والإصابات التي يمكن معالجتها خلوياً. وهذه التقديرات مبنية على الإجراءات المعتمدة في هذا المجال في الوقت الراهن؛ حيث يستغرق انقسام الخلية البشرية وقتاً طويلاً يتراوح بين 34 و36 ساعة. كما قد تمتد الفترة المذكورة أكثر من ذلك إذا ما أوصت هيئة الغذاء والدواء على سبيل المثال بإجراء دراسات سلامة، أو فرضت قيوداً تتعلق بضبط الجودة.

ويثير معارضو تقنية نقل نواة الخلايا الجسدية قضايا أخلاقية عدة ويرون أنها تكفي وحدها للحؤول دون مواصلة الدراسات في هذا المجال. فهناك مخاوف عظيمة من أن أي تقدم تقني يتحقق بفضل المعرفة المكتسبة من الاكتشافات العلمية سيستخدم لتعزيز إنتاج الخلايا الجرثومية بفضل تقنية نقل نواة الخلايا الجسدية، وهذا يزيد احتمال النجاح في استنساخ البشر. غير أن هذه الحجة مراوغة مادامت تحجب حقيقة أن هناك حداً فاصلاً عريضاً يجب احترامه، وهو أن الأجنة المنتجة من خلال تقنية نقل نواة الخلايا الجسدية يجب ألا تعود إلى الأجنة. أما في سياق تقنية نقل نواة الخلايا الجسدية فإن الأجنة المنتجة تُتلف خلافاً لما يحدث في التقنيات التكاثرية المساعدة؛ حيث تُولد الأجنة لزراعتها في الرحم. ومن الحجج الأخرى التي يثيرها معارضو تقنية نقل نواة الخلايا الجسدية أنه سيتم استغلال النساء من أجل الحصول على بويضاتهن كما ستنشأ سوق للبويضات البشرية؛ حيث سيصل عدد البويضات المطلوبة لأغراض بحثية إلى الملايين. وهذه المسألة من القضايا المهمة جداً بالنسبة إلى معارضي التقنية المذكورة ممن يرون أن هناك بدائل ممكنة تتمثل في الخلايا الجذعية من الأنسجة البالغة أو من الحبل السُّري.

القضايا الخلافية في دراسات الخلية الجذعية

من الآراء العلمية السائدة والمهيمنة أن تقنية الخليـة الجذعيـة سـتمكننا مـن تطـوير علاجات جديدة لأمراض وإعاقات مختلفة. وتتفق النتائج المـستقاة مـن الدراسـات التـي أُجريت على الحيوانات مع هذه الفكرة. ولكن علينا في البدايـة أن نُقِـرَّ بالقـضايا الخلافيـة المرتبطة بدراسات الخلية الجذعية، ومن ثـم علينـا معالجتهـا بحـسب مـا تمليـه المـسؤولية المجتمعية. وليس الهدف هنا أن نعرض الآراء المؤيدة والآراء المعارضـة للخليـة الجذعيـة، بل يُحصر هدفنا في أن نعرِّف القارئ بهذا الآراء المتعارضة لأنها تؤثر تأثيراً مباشراً في تقـدم دراسات الخلية الجذعية.

وتبذل دول عدة جهوداً دؤوبة لمعالجة هذه القضايا الخلافية متخذةً قرارات متفاوتـة في هذا الصدد تختلف باختلاف ثقافـة كـل دولـة. ويمتـد الجـدل بـشأن دراسـات الخليـة الجذعيـة إلى مـصدر الخليـة الجذعيـة، بـرغم أن الدراسـات العلميـة حـول الاحـتمالات العلاجية المستمدة من بالغين أو خلايـا جذعيـة جنينيـة خلـصت إلى أن الخلايـا الجذعيـة الجنينية ذات فوائد متعددة في المعالجات الطبية.[11] ولكن، هل يجب أن تقدم الدولـة تمـويلاً للخلايا الجذعية المستمدة من الأجنة المخلقة وغير المخلقة؟ وهل علينا أن نجيز استنـساخ الأجنة البشرية لأغراض علمية؟ وهل يمكن جهة أو هيئـة مـا أن تملـك الخلايـا والتقنيـة المستمدة منها؟ وكيف لنا أن نضع القوانين المناسبة التي تنظم هذه العملية برمتها للحؤول دون سوء استغلالها؟ وهل ستؤدي الدراسات على تقنية نقل نواة الخلايا الجـسدية – عـلى سبيل المثال – إلى اكتشافات تمكننا من استنساخ الأجنة بشكل فعـال أكثـر مـن ذي قبـل؟ وهذا ما قد يقودنا إلى محاولات لاستنساخ بني البشر. وبـرغم أن الحـد الفاصـل بـين هـذين الهدفين واضح تماماً ولا لبس فيه؛ فالأجنة المستمدة من خلال تقنية نقل نواة الخلايا الجسدية يجب أن تنقل إلى الرَّحم، غير أن هناك شيئاً من القلق من اختراق هذه الحدود الفاصلة.

وفي ثقافتنا الغربية ومجتمعاتنا التعدديـة والمتعـددة الإثنيـات لابـدّ أن يراعـي أي قرار لتسوية هذه الخلافات الاختلافات في التأويلات الأخلاقية للمراحـل الأولى مـن خلق الإنسان والالتزامات الأخلاقية بتقديم العـون لأولئـك الـذين يعـانون داءً مـا.

ولابد من أن نطور معايير أخلاقية تتبناها الأغلبية وأن نضع قوانين بحثية سليمة تتيح تقدم العلم من خلالها وتحترم وجهات النظر البديلة الشرعية، وتلك مهمة مخيفة، ولكن لابد منها.

المستقبل

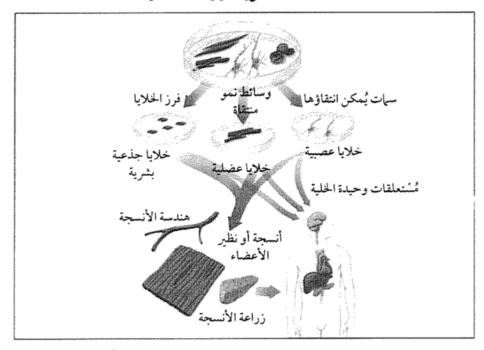
صحة بني البشر هي بحق أساس سعادتهم وقوة دولهم.[12]

نتيجة للإنجازات الأخيرة التي حدثت في مجال علم أحياء الخلية وعلم الأحياء التطوري وعلم الأحياء الجزيئي واكتمال مشروع الجينوم البشري فإنه يمكننا الآن أن نفهم آلية عمل الخلية. قد تكون العقبات الماثلة أمامنا مخيفة، غير أن الإمكانات والاحتمالات عظيمة، لأولئك الذين يسعون لفهم علم الأحياء وأولئك الذين يسعون للتوصل إلى علاجات لأدواء معينة؛ إذ تبين لنا الخلية الجذعية طرائق إصدار التعليمات لتشكيل الأنسجة والأعضاء، بل طرائق تشكيل الكائن الحي كله! كما تبين لنا الخلية الجذعية سبل نقض هذه الأوامر وسبل إعادة صوغها، بهدف تقويم الأنسجة والأعضاء المعطوبة والمريضة واستبدال أخرى بها. وستمكننا الخلية الجذعية من فهم الكثير من مبادئ علم الأحياء، كما ستتيح لنا فرصة غير مسبوقة لدراسة أوجه تطور الإنسان كافة.

وستبقى الخلية الجذعية في المستقبل القريب محور التقنيات التطورية للمعالجات المبنية على الخلية. وستكون الخلايا الجذعية المصدر المباشر لزراعة الخلايا، سواء لزراعة خلايا معينة؛ مثل: عضلة القلب، والخلايا الدماغية، وغير ذلك، أو من خلال هندسة الأنسجة والأعضاء أو أجزاء من الأعضاء (انظر الشكل 4-8). وستكون الخلايا الجذعية أيضاً مصدراً للمعلومات يتم تطبيقه على خلايا المريض نفسها، إما من خلال إعادة برمجة الخلايا المخلقة من الخلايا البالغة أو من خلال التدخل في الخلايا في الجسم (انظر الشكل 4-9). ولكن علينا أن نلزم الحيطة والحذر لأن الخلية الجذعية لن تحمل علاجاً لكل أدوائنا. وكما ذكر دوود (Dowd) في مقدمة هذا الفصل فإن الخلية الجذعية لن تشفي كل داء، ومن المتوقع أن تمر أعوام وأعوام قبل أن نصل إلى علاج محتمل لداء ما.

الشكل (4-8)

المعالجات الخلوية: زراعة الخلايا

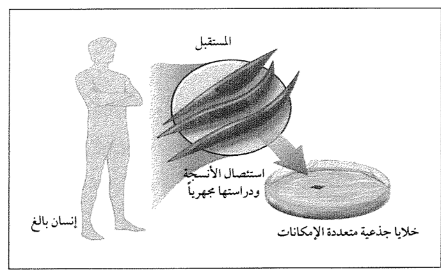


ملاحظة: ستتضمن المعالجات الخلوية زراعة أنواع معينة من الخلايا مثل الخلايا المولِّدة للأنسولين والخلايا الكبدية والخلايا العصبية علاوة على الأنسجة والأعضاء (أو أجزاء من الأعضاء) المجمعة من أنواع عدة من الخلايا.

المصدر: .Michael S. Linkinhoker

الشكل (4-9)

الاحتمالات المستقبلية لمعالجات الخلية الجذعية



ملاحظة: سيكون ممكناً في المستقبل أن نحوِّل أنواعاً عدة من الخلايا المأخوذة من مريض ما إلى خلايا جذعية على أن نستمد نوعاً (أو أنواعاً) من الخلايا التي يحتاج إليها المريض في معالجة معينة.

المصدر: .Michael S. Linkinhoker

وتصب الدراسات الحالية في هذا المجال اهتمامها على الاكتشافات الجوهرية؛ حيث إن هناك تحديات علمية عظيمة تقف أمام التوصل إلى معالجات آمنة مبنية على الخلية. ولابد من التقاء الجهود الدؤوبة للعلماء والأطباء من تخصصات مختلفة لتحقيق الغاية المرجوة في هذا الصدد. لقد بات واضحاً أن عصر علم أحياء الخلية الجذعية سيجعل مستقبلنا مختلفاً تماماً عن ماضينا.

الفصل الخامس

المضامين الأخلاقية والقانونية والاجتماعية للتقنية الحيوية

جلين ماكجي

ربما يحق لنا أن نعد الخلية الجذعية الجنينية البشرية - بكل إمكاناتها الكبيرة التي مازلنا نجهلها - الحدثَ العلمي الأهم خلال الأعوام المائة المنصرمة. لقد أثارت الخلية الجذعية الجنينية البشرية جدلاً حاداً حول قضايا متعددة؛ من أهمها: الإجهاض، والاستنساخ، والأنسجة الجنينية، وزراعة الأعضاء، والمعالجة الجينية، وحقوق الحيوان، والتقنية المعززة. وهي تثير في الوقت ذاته قلقاً حول قضايا عدة؛ أهمها: دور المرأة في الدراسات الطبية، والجنس، والقوانين التي تحكم العيادات التي تجري عمليات إخصاب خارج الرحم، والمخاطر المرتبطة بتغيير الخط الجرثومي البشري، والحرب على الشيخوخة. وسيجد بعض أكثر السياسيين نفوذاً في عالمنا اليوم أنفسهم مكرهين على تغيير بعض الآراء التي طالما تمسكوا بها، ودافعوا عنها؛ كما ستثرى ثلة قليلة من العلماء بعد أن تؤول إليها ثروة تقدر بمليارات الدولارات بفضل براءات الاختراع الخاصة بأجزاء من الأجنة. وقد يخضع أكثر من 150 مليون نسمة في الشرق الأوسط وحده، علاوة على نحو مليار شخص حول العالم، للمعالجة بتقنية الخلية الجذعية الجنينية البشرية قبل نهاية العقد؛ وبرغم ذلك لم تُجر حتى هذه اللحظة أية دراسات مهمة حول تطبيقات هذه التقنية على البشر. وقد حظيت الخلية الجذعية باهتمام أبرز الصحف ووسائل الإعلام والصحافة العلمية والاقتصادية يوماً بعد آخر، وإن لم يصدر كتاب واحد حولها. ولنا أن نعيد هنا القول: إن الخلية الجذعية الجنينية البشرية هي الفتح العلمي الأهم في سعي البشرية منذ أمد بعيد لفهم أصولها، وقد تكون الخلية الجذعية فاتحة لعشرات الإنجازات في مجال الطب بل مئات منها. وقد تكون الخلية الجذعية أيضاً التقنية الأكثر جدلاً، حتى إن بعض المتابعين يصورها على أنها صفقة

فاوستية* تنطوي على المتاجرة بالحياة البريئة لبعض البشر ليعيش آخرون حياة أطول، بينما يراها بعضهم الآخر على أنها تضحية جزئية لا بد منها ليتمكن البشر من معالجة أمراضهم.

أصول الجدل حول المعالجة بالخلية الجذعية

لقد انبرى جون جيرهارت (John Geahart) وجيمس تومسون (James Thomson) ونحو مائة من الباحثين، على اختلاف درجاتهم العلمية، في جامعتي جونز هوبكنز وويسكونسن وعشرات الجامعات الأخرى لتحديد الخلية الجذعية الجنينية البشرية الكثيرة الكنون (pluripotent)، وأمضوا أعواماً في جهودهم الحثيثة قبل نشر ما توصلوا إليه عام 1998 [1]. وقبل أن تثبت التجارب المخبرية بأمد بعيد أن الخلية الجذعية الجنينية البشرية يمكن أن تكون فعالة في معالجة الأمراض البشرية، تحدث الكثير من العلماء ومناصري المصابين بالأمراض التَنَكُّسية والسياسيين بل كتبوا حول "الإمكانات العظيمة" للخلايا الجذعية في الطب [2]. غير أن أولئك الذين يعارضون الإجهاض والدراسات التي تجرى على الخلايا الجنينية و/ أو الإخصاب في الأنابيب المخبرية لأسباب أخلاقية نددوا بالدراسات التي تُجرى على الخلايا الجذعية البشرية ومعالجتها تنديداً شديداً، منادين بدلاً من ذلك باستخدام الخلايا الجذعية المأخوذة من البالغين أو تلك المأخوذة من دم الحبل السُّرِّي [3]. وليس لدينا من الحقائق العلمية المثبتة ما يؤكد أن المعالجة بالخلايا الجذعية الجنينية أو الخلايا الجذعية المستمدة من البالغين فاعلة تماماً. بينما صبت الآراء المؤيدة والمعارضة للخلايا الجذعية في الأدبيات السريرية ومؤلفات الأخلاقيات الطبية اهتمامها على العلم ذاته. ويكتنف الكثير من الغموض طبيعة العلاقة بين الحقائق العلمية والمخاوف الأخلاقية المنطوية عليها. وقد حاول الطرفان - المؤيدون والرافضون - التوصل إلى أرضية مشتركة من دون أن ينجحوا في ذلك.

أما من وجهة نظر المستهلكين والناشطين والمعالَجين فإن دراسات الخلية الجذعية أضحت حقيقةً واقعة من دون مرجعية سابقة، وكأنها معجزة فيها ما فيها من إمكانات

* إشارة إلى الأسطورة التي تعود إلى القرون الوسطى حيث باع فاوست روحه إلى الشيطان مقابل المعرفة. (المترجم)

كبيرة [4]. وخلافاً لعلم الجينوم الحديث الذي له غاياته وله طبيعته الخاصة فإن المختبرات التي تجري الدراسات الخاصّة بالخلية الجذعية لا تسعى لتحقيق هدف أو اثنين فحسب، بل غايتها تحقيق مئات الفتوحات المخبرية والبحثية.

لقد فرضت الخلايا الجذعية نفسها في الأبحاث الرئيسية في علم أحياء الخلية الحيوانية والبشرية وفي التجارب المخبرية للتقنيات العلاجية المحتملة، وفي عدد من المعالجات الناجحة كذلك.[5] وتركز الدراسات الأساسية حول الخلية الجذعية في معظم الأحيان على المشكلات الأساسية التي تعترض طريق علم الأحياء التطوري. وتناقش الدراسات المذكورة - على سبيل المثال - تطور الخلايا المختصة، واشتراكها معاً في أنشطة منسقة.[6] ولذا فإن دراسات الخلية الجذعية تركز على مدى تخصص الخلايا الجسدية خلال تطور الكائن الحي، والسياقين الزماني والمكاني لذلك، كما تناقش دور الخلايا الجذعية في إعادة تأهيل الخلايا المصابة أو المستنزفة في الكائن الحي الناضج.

دراسات الأجنة بوصفها منطلق دراسات الخلية الجذعية

سنعرف الجنين - في حدود هذا الفصل - بأنه كائن حي في مرحلة نمو، وتبدأ الحياة فيه من لحظة الإخصاب حتى مرحلة التشكل الجنيني. وقد أضحت الأجنة البشرية متاحة على نطاق واسع لأغراض البحث العلمي بعد تطور مفهوم الإخصاب في الأنابيب الذي ظهر في السبعينيات على يد ستبتو (Steptoe) وإدواردز (Edwards) بغرض معالجة العقم. وفي عام 1978 وثّق العالمان أول حالة ولادة عن طريق الإخصاب داخل الأنبوب، وبعد أربعة أعوام تحدث العالمان عن عزمهما على تجميد أجنة إضافية لاستخدامات سريرية ومخبرية. ومنذ ذلك الحين، استغل العلماء والأطباء الأجنة لأغراض بحثية صرف؛ إذ لاحظ هؤلاء على أحد الصعد أن الأجنة هي محور علم التشريح وعلم الأمراض بالنسبة إلى عملية التطور. وقد ثبت أن لهذه الدراسات أهميتها أيضاً في تطوير الفاعلية السريرية للإخصاب في الأنابيب. أما على صعيد آخر فلها أهميتها في دراسة تشخيص الأمراض الوراثية وغيرها ومعالجتها بمساعدة التشخيص الجيني الذي يسبق تثبيت البويضة الملقحة.

ولنا أن نرد أسس دراسات الخلية الجذعية إلى فهمنا لسلسلة من الأحداث ومجموعة البنى المرتبطة بتطور الجنين في مرحلة ما قبل التشكل وما بعده. وأساس اهتمامنا هو التساؤل حول كيفية تطور الجنين البشري إلى كائن ذي بنية معقدة.

هناك – على أقل تقدير – نوعان من الخلايا الجذعية الجنينية البشرية، وأفضل تصنيف لها هو الخلايا الشاملة الوُسْع (totipotent) (وهي الخلايا التي بوسعها أن تنمو أو تتطور في أي اتجاه) والخلايا الكثيرة الكُنون. وتوجد الخلايا الشاملة الوُسع في البويضة المخصبة المنقسمة. ولهذه الخلايا قدرة فريدة على أن تتطور إلى أي نوع من الخلايا أو الأنسجة الموجودة في جسم الإنسان، ومنها على سبيل المثال الكبد أو الخلايا القلبية أو العصبية أو خلايا الدم، كما أن لها القدرة على تكوين كائن حي برمته. أما الخلايا الكثيرة الكنون فموجودة في الكتلة الخلوية الداخلية لكيسة الجرثومة، أي في مرحلة التطور التي تشكل فيها الكتلة الخلوية المنقسمة ما يشبه الكرة المجوفة. وعلى حين أن الخلايا الجذعية الجنينية البشرية يمكن أن تتطور إلى الكثير من أشكال الخلايا والأنسجة، إن لم يكن كلها، فإنه لا يعتقد الآن أن لديها القدرة – في حال زرعها في الرحم – على الانقسام والنضج لتصبح كائناً حياً. وفي العادة تستخدم الخلايا الكثيرة الكُنون استخداماً محدداً في دراسات الخلية الجذعية الجنينية.

ومن أجل الحصول على خلايا جذعية جنينية لابد من عزل الكتلة الخلوية الداخلية لكيسة الجرثومة عن قشرتها الخارجية؛ لعزل الجنين عما كان يمكن أن يتطور إليه من مشيمة. ثم تؤخذ خلايا جذعية بعينها من المشيمة لأغراض بحثية. وتكون الأجنة المستخدمة في دراسات الخلايا الجذعية الجنينية البشرية من أجنة نمت من خلال التخصيب في الأنابيب غير أنها لم تستغل لتلك الغاية. وقد اصطلح على تسمية مثل تلك الخلايا بتسمية مخففة هي "إضافية" أو "زائدة" لدى الأطباء بينما استخدم هذه التسمية السياسيون لوصف مصدر هذه الخلايا لغايات الدراسات والمعالجات الخاصة بالخلايا الجذعية الجنينية.

الاستخدامات السريرية لدراسات الخلية الجذعية الجنينية

على حين لم يكن واضحاً بدقة - عندما نشر جيرهارت وتومسون كتابها - ما الذي قد يتمخض عن تعريف الخلايا الجذعية الجنينية البشرية الكثيرة الكُنون واستغلالها، فإنه سرعان ما اتضح أن ما توصل إليه هذان العالمان سيكون له أهمية بالغة في الدراسات الأساسية والسريرية للإنسان والحيوان عموماً.

- عرَّف جيرهارت وتومسون نقطة أساسية في تطور الجنين البشري حين تصبح الدنا في نواة خلايا معينة غير مخلقة غير قادرة على توليد كائن مماثل آخر، وهي النقطة التي لا تكون فيها شُمولية الوُسع (totipotency) متاحةً.
- والأهم من هذا وذاك أن نوى الخلايا يمكنها أن تنتج نطاقاً واسعاً إن لم يكن شاملاً كل أشكال الخلايا التي ستسكن كائناً حياً ناضجاً أو متطوراً.
- من الممكن أن تؤخذ هذه الخلايا من الأجنة أو أن تُعزل من خلايا أخرى.
- وبعد أخذ هذه الخلايا الجذعية الجنينية البشرية الشاملة الوُسع يمكن استنباتها وتجميدها ونقلها وتنميتها وتقويمها بطرائق مختلفة.
- ويمكن استثارة هذه الخلايا لتوليد خلايا مخلقة. وعندئذ يمكن لهذه الخلايا أن تولد خلايا أخرى، يستطاع نقلها من المستنبت إلى أجسام المرضى لتحل محل الكثير من الخلايا التالفة أو لتؤدي الكثير من المهام الممكنة، التي تتراوح بين التلقيح وتدمير الخلايا السرطانية ونقل العقاقير الدوائية.

ولم يحقق الكثير من التجارب السريرية التي حازت اهتماماً إعلامياً بالغاً وتضمنت زراعة أنسجة جنينية في مرضى يعانون أمراضاً تنكسيةً في الدماغ والجهاز العصبي مثل داء باركنسون، أي نجاح يُذكر، برغم ما حققته الطريقة نفسها من نجاح في الفئران وثدييات معينة. وبرغم أن هذه التجارب لم تقوّم تحديداً نشاط الخلايا الجذعية، فإنها أثارت تساؤلات أساسية حول منفعة الخلايا غير الناضجة في زراعة الأعضاء وغيرها أو سُمِّيتها.

وقد تضمنت التجارب السريرية على الخلايا الجذعية نطاقاً واسعاً من الاختبارات حول فاعلية الخلايا الجذعية المزروعة في إعادة تأهيل أنواع معينة من الخلايا لدى المرضى الذين يعانون سرطان العظام وأمراض جهاز المناعة [7]. وتشمل التقنيات المتبعة الآن اشتقاق الخلايا الجذعية من دم الحبل السُّري وزراعة الخلايا الجذعية لعلاج اللوكيميا.

وسُرعان ما أدت الحماسة التي رافقت دراسات الخلية الجذعية الجنينية إلى مناقشة موسعة حول مستقبل هذه الدراسات، ودور الخلية الجذعية في بدء حوار أوسع نطاقاً حول سبل تخصيص المزيد من الموارد للرعاية الصحية، وسبل المضي قدماً في الدراسات السريرية مع أخذ الحيطة، وسبل تنظيم الدراسات التي تُجرى على الأجنة المخلقة والأجنة غير المخلقة والإجهاض. وقد حظيت النداءات الواسعة الداعية إلى تدفق الاستثمارات الحكومية في مجال دراسات الخلية الجذعية باهتمام الحملة الانتخابية الرئاسية عام 2000 في الولايات المتحدة الأمريكية وفي مداولات الحكومة وجلساتها. وقد تبين في الولايات المتحدة الأمريكية وفي سياق مناقشات المؤتمر الذي ينظمه مركز الإمارات للدراسات والبحوث الاستراتيجية أن الباحثين الذين تموِّل أبحاثهم شركات صغيرة، لا حكومات وطنية أو إقليمية، حققوا إنجازات عظمى وأكثر أهمية، كما حدث تماماً في مجال دراسات استنساخ الحيوانات الثديية. أما النداءات الداعية إلى أن تموِّل الحكومة دراسات الخلية الجذعية فهي قائمة على فكرة أن تمويل الحكومة سيمكننا من تنظيم دراسات الخلية الجذعية، بل فرض قيود معينة عليها عند الضرورة. وقد تبنى هذه الحجة أيضاً الكثير من المجالس الأخلاقية الاستشارية، بما في ذلك – على سبيل المثال – اللجنة الاستشارية الوطنية للأخلاقيات الطبية في الولايات المتحدة الأمريكية، التي يُقال إنها هيئة موالية تضم علماء أخلاق عينهم الرئيس بيل كلنتون [8]. أما القضية التي لم تكن غائبة في البداية فهي كيف أن براءات الاختراع المتعلقة باكتشافات جيرهارت وتومسون وغيرهما قد تجعل من الصعب على الحكومة أن تمارس دور السلطة التنظيمية، وهو الأمر الذي تسعى له هيئات؛ مثل اللجنة الاستشارية الوطنية للأخلاقيات الطبية والجمعية الأمريكية للتقدم العلمي، وغيرهما.

القضايا الأخلاقية في الدراسات والدوائيات المعاصرة

تثير قضية الدراسات التي تجرى على الأجنة عدداً من القضايا الأخلاقية والقانونية، غير أن القضية المحورية في الجدل المثار في الدول الغربية حول هذه القضية هو الوضع الأخلاقي للأجنة. وليس الجدل مقصوراً على الدراسات الأكاديمية في العلوم والأخلاقيات الطبية في القرنين العشرين والحادي والعشرين، بل إنه متأصِّلٌ في الآراء الدينية والفلسفية. فأما في الفكر الفلسفي الغربي فيعود هذا الجدل حول وضع الجنين إلى أرسطو الذي كتب حول نفخ الرّوح في الجنين عند نقطة زمنية معينة، ومن قبله الفيلسوف هرقليطس الذي عاش قبل سقراط. كما طُرِحَت وجهات النظر الدينية حول الحمل بشكل مفصل في الكتابات الأكاديمية اليهودية والمسيحية والإسلامية، التي يمكن رصدها في النصوص الدينية الأولى في هذه الديانات. أما القضية المعاصرة حول الوضع الأخلاقي للجنين فقد طُرحت خلال الجدل الذي دار في الولايات المتحدة الأمريكية حول قانونية الإجهاض في الفترة ما بين ستينيات القرن المنصرم وثمانينياته. ومازالت هذه القضية مطروحة للنقاش حول استخدام معظم تقنيات (التكاثرية) اليوم. وفي العادة تُطرح وجهات النظر حول الوضع الأخلاقي للأجنة البشرية بإحدى الصيغ الثلاث الآتية:

- عدم تمتع الجنين البشري بأي وضع أخلاقي جوهري؛ إذ إنه يستمد مكانته من أمه.
- تمتع الجنين البشري بوضع أخلاقي بصرف النظر عن رأي الآخرين فيه.
- وجود الجنين البشري من دون أن يكون له وضع أخلاقي في البداية، أو قد يكون له وضع أخلاقي في حدوده الدنيا، غير أن وضعه الأخلاقي يتعزَّز شيئاً فشيئاً مع نموه.

وجهة النظر الأولى

يقول أصحاب وجهة النظر هذه: إن الأجنة البشرية ليس لها أيّ وضع أخلاقي أو لا تخضع للمعايير الأخلاقية، وهم يدافعون عن هذا الرأي من منطلقات مختلفة. فمادام الجنين يعتمد اعتماداً كلياً على أمه التي يعيش في رحمها فإن الكثير من علماء الأخلاق يرون أنه لا يمكن النظر إلى الجنين على أنه كيان مستقل. بل على النقيض من ذلك، يرى بعضهم الآخر - ومنهم الفيلسوف الشهير جوديث جارفيس تومسون (Judith Jarvis Thomson)

من معهد ماساشوستس للتكنولوجيا - أن أفضل تشبيه لوصف وضع الجنين هو الطفيليات (النافعة والضارة منها)؛ لذا فإن الجنين لا يملك وضعاً أخلاقياً مستقلاً عن أمه. أولئك الذين يؤمنون بهذا الرأي لا يعارضون الدراسات التي تُجرى على الأجنة في مراحل تطورها المختلفة لأنهم ينفون في الأصل أي وضع أخلاقي للأجنة ؛ بل إنهم يشيرون على سبيل المثال إلى الجراحة الجنينية (سواء التي تُجرى في الرحم أو خارجه) على أنها مجرد جراحة تُجرى على الأم لا أكثر. وتتركز مخاوف الذين يؤمنون بهذا الرأي على المضامين الاجتماعية الطويلة الأمد لمثل هذه الدراسات ولاسيما بعد الولادة، وخاصة في حال عانى الوليد إعاقات معينة. غير أنهم لا يؤمنون بأن إتلاف الأجنة يمثل مشكلة أخلاقية أصيلة.

وجهة النظر الثانية

تنطلق وجهة النظر الثانية القائلة: إن للجنين وضعاً أخلاقياً أصيلاً من فكرة أن الشخص إنما يُخلق في لحظة زمنية معينة يمكن ربطها بتمام العلاقة التي تربط بين الزوجين أولاً، وبدء المشاركة الجسدية والقانونية لذلك الشخص في المجتمع البشري ثانياً. والصورة المجازية التي تستخدم في العادة لتقريب وضع الجنين إلى الأذهان في هذا السياق هي صورة الوليد. إن تردد ذكر الأجنة في الحياة العامة والحياة الخاصة قد عزز وجهة النظر بأنه منذ "لحظة" حدوث الحمل يمكننا أن نعرف شخصاً ما، بمعزل عن المخاطر التي تواجهه وبصرف النظر عن الفروق الواضحة بين مثل هذا الشخص (كما في حالة الأجنة المجمدة) وبين شخص له إسهامه كوليد أو طفل أو بالغ في الحياة المؤسسة في المجتمع. وفي إطار هذا الرأي حول الحمل والأجنة، نجد أن استخدام الأجنة لأغراض بحثية إنما هو مساوٍ تماماً لاستخدام أي كيان ضعيف في الأبحاث من دون موافقة مسبقة، فالأبحاث لا تمثل خطراً داهماً فحسب بل إنها قد تؤدي في أحوال عدة إلى محصلة متوقعة هي الوفاة.

وجهة النظر الثالثة

أيد الكثير من الفلاسفة والعلماء النموذج التطوري للوضع الأخلاقي والقانوني للأجنة البشرية، المخلقة وغير المخلقة. وينطلق هذا الرأي من مقولة أن التغيرات الطارئة على الأجنة المخلقة وغير المخلقة لها أهميتها الأخلاقية لأنها تمثل، بالإضافة إلى كونها

روحاً، تطور القدرة المصاحبة للكائن الحي للمشاركة في المجتمع البشري. ومن مؤيدي هذا الرأي رو (Roe Decision) الذي قال بتقسيم الحمل إلى ثلاث مراحل، تُحدّد كل مرحلة منها بحسب تطور الجنين نفسه، علاوةً على الرأي الذي أصدرته المحكمة العليا في تلك القضية والقائل إن هذه المراحل الثلاث تمثل الموقف المتعزز للكائن الحي الناشئ في المجتمع البشري. وقد مكنتنا التقنيات المعاصرة الخاصة بالمواليد الجدد من وضع تعريف إكلينيكي لاستمرار الحياة، أي اللحظة التي يتمكن بعدها الجنين من أن يعيش خارج الرحم. ومن المهم هنا أن نشير إلى حقيقة أنه ليس الجنين الذي يتغير خلال فترة الحمل فحسب، بل التقنيات الخاصة برعاية المواليد الجدد؛ لذا سيتغير الوضع الأخلاقي لجنين عمره 22 أسبوعاً - في غضون خمسة أعوام - بحسب تطور التقنيات المذكورة. وبمعنى آخر فإن الوضع الأخلاقي للجنين لا يبقى ثابتاً أو محدداً.

ومن المؤكد أن المؤمنين بأن تطور الجنين واستمراره أمران مهمان عند الحديث عن الأبحاث التي تُجرى على الأجنة المخلقة والأجنة غير المخلقة والخلايا الجذعية يواجهون مشكلات عدة، تشير إليها أسئلة؛ منها: كيف يمكن القيم (مثل حقوق الجنين) أن تُستمد من الحقائق؟ ما الوضع الأخلاقي لكائن تَخَلَّق في المختبر، كأن يكون كائناً يشبه الجنين ولكنه يضم أجزاء مأخوذة من أحياء مختلفة؟ وما الوضع الأخلاقي للخلايا المتخصصة في الإنسان البالغ إذا ما ثبت أنه يمكن تحويل هذه الخلايا البالغة إلى أجنة مستنسخة بصدمة كهربائية أو من خلال وضعها في حوض أنزيمي؟ تشير الاستطلاعات إلى أن الرأي المذكور الذي يؤمن به أغلب المصوتين المسجلين في الولايات المتحدة الأمريكية والمملكة المتحدة هو الأكثر تعقيداً؛ لأنه يحاول أن يتجاوب مع التطورات والتغيرات التي تشهدها العلوم.

القانون وأخلاقيات دراسات الأجنة

إن القضايا الأخلاقية المثارة حول الدراسات التي تُجرى على الأجنة تجعل وضع الأجنة محل خلاف واختلاف. وتكمن صعوبة معالجة القانون لهذه القضية في أنها مثقلة بالآراء المتضاربة؛ وفي العادة تصل مثل هذه القضايا إلى دور القضاء في شكل قضية محددة، فضلاً عن أنه - في العادة - تكون الخبرة الضرورية حول الناحيتين العلمية والأخلاقية

لمثل هذه القضية غائبة أو غير متاحة. علاوة على أن دور القضاء - خلاف المؤسسات الدينية أو الفلسفية - لا بد أن يصل إلى إجماع ما من أجل أن يصدر حكماً في القضية الموكلة إليه. وإذا كانت المحكمة العليا في الولايات المتحدة الأمريكية قد أهملت قضية إجهاض بعينها أو تغاضت عنها، فإنها قد اتخذت خطوة مهمة من حيث إنها أتاحت للآخرين أن يحددوا رؤية القانون لهذه القضية كما أنها أتمت مهمة قضائية في هذا الصدد. وهذه القضية عويصة بطبيعتها لأسباب عدة: فالاتفاق بين العلماء وعلماء الأخلاق والمحامين والمشرعين والزعماء الدينيين فيما يتعلق بوضع الأجنة لا يكاد يُذكر، بل لما نحسم بعدُ مسار دراسات الأجنة من وجهة نظر "خبراء القضية"؛ لأننا نفتقد إلى القيادة التشريعية والقضائية والاقتصادية؛ وهذا يجعل تحديد الخبراء من غيرهم أمراً ليس يسيراً.

إن غياب الإجماع حول وضع الأجنة، وأخلاقية دراسات الأجنة قد نجم عنهما ما يمكن أن نصفه بتعريفات قانونية غامضة ومتناقضة في الولايات المتحدة الأمريكية، على مستوى الولاية أولاً، ومستوى الفيدرالية ثانياً. وبما أنه يصعب علينا تماماً أن نعرف وضع الأجنة، فإن القضية تبقى مثيرةً لخلافات حادة، بل إن معظم الهيئات التشريعية تنأى بنفسها عن إصدار بيان قاطع بهذا الشأن، قد يثير غضب أحد طرفي الجدل المحتدم الآن. بل إن قانونية دراسات الأجنة متفاوتة من دولة إلى أخرى.

ويعد إجراء التجارب على الأجنة الرامية إلى تطوير خلايا جذعية وتقنيات ذات صلة وكذلك إثراء المعرفة العامة أمراً قانونياً في المملكة المتحدة وثلاث من الولايات الأسترالية تحت ظروف معينة. وبالمقابل تحظر ألمانيا دراسات الأجنة حظراً تاماً. أما في الولايات المتحدة الأمريكية فينطلق الجدل الدائر حول شرعية دراسات الأجنة من أحكام سابقة أصدرتها محاكم الولايات أو قوانين الهيئات الفيدرالية وتوجيهاتها، بالإضافة إلى تلك التي تصدرها كل ولاية وحدها حول وضع الأجنة.

وبرغم أن المحاكم تسعى الآن فعلياً لتهدئة الجدل المثار حول وضع الأجنة، فإن عليها أيضاً أن تجيب على عدد من الأسئلة المطروحة: هل نسمح بإجراء التجارب على الأجنة؟ وإذا كانت الإجابة بنعم، فما الظروف الذي تقود إلى حظر مثل هذه التجارب؟ لقد

أظهرت استطلاعات الرأي في الولايات المتحدة الأمريكية أن الغالبية أبدت رغبة في إجراء بعض التجارب على الأجنة. وعلى الصعيد السياسي، يتعين على المحاكم أن تضع خطاً تفصل فيه بين التجارب المقبولة والتجارب غير المقبولة.

القانون ومكانة الأجنة

إن الجنين - تاريخياً وبحسب القانون العام والعُرْف - لم يكن محمياً قانونياً إلا بعد انفصاله عن جسم أمه انفصالاً تاماً. وحجة أصحاب هذا الرأي أن الجنين لا يكون مستقلاً وهو في رحم أمه؛ ومن ثم لا يمكن أن تكون له حقوق خاصة به. ومن هذا المنطلق لم يحظَ الجنين وهو في رحم أمه بأي حماية قانونية ضد الإضرار به. غير أن القرارات الأخيرة التي جرَّمت فعلة إنهاء الحمل أو الأفعال التي قد تقود في نهاية الأمر إلى الإضرار بالجنين في ظروف معينة قد غيرت القانون العام والعُرْف بشأن الأجنة المتشكلة وغير المتشكلة، مثلما فعلت القضايا التي أثيرت بشأن الولادات غير الشرعية حول الشيء نفسه. وتحديداً، يحق للأم وطفلها الآن أن يرفعا قضية إذا ما وقع على أحدهما ضرر بسبب الممارسات الطبية الخاطئة أو بسبب الإهمال عن عمد، ومثال ذلك أن يُصاب الجنين في بطن أمه بضرر ما تلحق أضراره السلبية الطفل بعد ولادته.

ومن أجل تعريف وضع الجنين عوَّلت المحاكم أيضاً على اختبار الشخصية؛ وتحديداً، معرفة متى يمكننا أن نعد الجنين جنيناً وتحت أي ظروف ؛ ومتى نعده شخصاً من حقه الحماية القانونية؟ ففي قضية "رو مقابل ويد" (Roe v. Wade) في عام 1973 رفضت المحكمة العليا في الولايات المتحدة الأمريكية أن تعد الجنين في بطن أمه "شخصاً" وفقاً للتعديل الرابع عشر في الدستور. غير أن المحكمة ذاتها أخفقت في أن تضع تعريفاً واضحاً ومحدداً للشخصية أو أن تفسر حرمانها الجنين في بطن أمه من مثل هذه الحماية القانونية؛ لذا دار جدل حاد حول المكانة القانونية للأجنة، في ظل سعي المحكمة السابقة نفسها لتحديد ثلاث مراحل للحمل، وإعطاء أهمية إكلينيكية وقانونية للجنين في الفترة الثالثة من الحمل (وإن لم تعطه حقوقاً).

ومادامت قضية "رو مقابل ويد" لم تعط تعريفاً واضحاً ومحدداً للشخصية، فقد تعين على المحكمة أن تسلك سبيلاً آخر من أجل تعريف الجنين. ولكن كانت هذه المهمة، بل ظلت، مستعصية وعويصة في آن واحد. لقد سعت أمم عدة لتولي هذه المهمة المبنية في الأصل على احتمال افتراض أن الإخصاب ذاته يعطي الفردية، وفي حال اتفقنا على ذلك، فهل سنعد الإخصاب حدثاً أو عملية؟ ونتيجة للجدل المثار حول هذه القضية صبت المحاكم وهيئاتها الاستشارية والتشريعات اهتمامها على الشخصية وأبعادها الميتافيزيقية؛ كما اهتمت بقضية إذا ما كان للشخصية والهوية الفردية دور في تحديد المرحلة التي يكون فيها الجنين قد تخلق (وبذا يكون له وضع أخلاقي) ولا يجوز أن يخضع لاختبارات إجبارية ولا طوعية (ومن باب أولى عدم إخضاعه لأي اختبارات أخرى).

وقد نشرت لجنة وورنوك (Warnock Committee) تقريراً عام 1984 جاء فيه أنه لا يجوز إجراء دراسات متلفة على الأجنة إلا في غضون الأربعة عشر يوماً الأولى من تطورها. وقد تم تحديد فترة الأسبوعين بناء على الحجج الآتية:

- يمكن أن تحدث "التوأمة" حتى بعد مرور أربعة عشر يوماً.
- إذا كانت "التوأمة" ممكنة فمعنى ذلك أننا لا يمكن أن نعد الجنين فرداً.
- يتمتع الأفراد وحدهم بالمكانة الأخلاقية.
- لا يمكن حماية الكائنات التي لا تتمتع بوضع أخلاقي، ويمكن إتلافها؛ لذا يمكن أن تُجرى التجارب عليها.

إن قانون الأربعة عشر يوماً مبني على فرضية أن الفرد يتمتع بمكانة أخلاقية، وهو يعرف الفترة التي يستحق فيها الكائن فرديته. غير أن هناك معايير أخرى تم اقتراحها في هذا الصدد. ومنها على سبيل المثال الفكرة التي تثار بين حين وآخر والمتمثلة في قابلية الحياة والنمو؛ لذا ربما تُعطى الأجنة القابلة للحياة مكانة أخلاقية، على حين تُحرم الأجنة التي لا تقوى على البقاء خارج الرحم من هذه المكانة. ومن أمثلة هذه المعايير أيضاً الولادة، ومنها أيضاً الموافقة الواعية والإنابة الأبوية في اتخاذ القرار عن الأجنة، وهي

الموافقة التي تبيح إجراء دراسات على الأجنة المخلقة أو غير المخلقة أو تحرمها استناداً إلى رؤية الأبوين (أو رؤية المحكمة) إلى أهمية الموافقة الواعية أو طبيعة هذه الإنابة. وقد أثير مثل هذه التساؤلات في مَبْحث جراحة الأجنة. ومن المعايير ما هو مبني على أنه عند الحمل أو الإخصاب يبدأ شخص له حقوقه بالتشكل، ولكن هنا أيضاً يُثار تساؤل حول اللحظة الدقيقة التي يحدث فيها الإخصاب أو الحمل، وحول الظروف التي تبيح إجراء أي دراسة مخبرية أو إجراء عملية على جنين في لحظاته الأولى، بل حول السلطة التي من حقها أن تقرر ذلك أو تمنعه.

منطلقات الجدل الأخلاقي حول دراسات الخلية الجذعية والمعالجة بها

يرى بعض المتابعين أن موقف المرء من أخلاقيات دراسات الخلية الجذعية غير مبني على مبدأ تحديد اللحظة الدقيقة لحدوث الحمل، أو مبدأ تحديد المكانة الأخلاقية للأجنة بحسب مراحل نموها وتطورها فحسب، بل هو مبني على نظرة المرء الأخلاقية والقيمية. فأخلاقيات المرء هي التي تحدد أفق نظرته الأخلاقية وحدودها، وهي التي تحدد - أيضاً - رأيه حول إمكان الاعتبارات الشخصية - وإن كانت من منطلقات عقلانية- أن تؤثر في القضايا الأخلاقية، وستؤثر - أيضاً - إذا كان المرء راغباً أو قادراً على أن يدخل حواراً ديمقراطياً مدروساً حول هذه القضايا المعقدة. وهناك جدل بشأن قضايا نظرية عدة في علم الأخلاق.

نظرية الحقوق

ينفي بعض الدارسين حق الجنين في أن يعيش انطلاقاً من أن الجنين نفسه ليس له أي "اهتمام" فعلي بالحياة. وينطلق هذا الرأي من فرضية أن القتل في الأصل أمر مرفوض لأنه يحرم شخصاً مهتماً بالحياة منها. ومادام الجنين ليس واعياً أو مدركاً لقيمة الحياة ، ومادام غير مهتم فعلياً بأمدها، فإنه لم يحظَ بأي وضع أخلاقي وفقاً لنظرية الحقوق التي نادى بها روبرت نوزيك (Robert Nozick) وآخرون. وتحديداً، ليس للجنين حق "إيجابي" في أن يُذاب بعد أخذه من حوض نيتروجيني ويُزرع في رحم ما، وليس له بالمقابل حق "سلبي"

ضد أن يُتلف في أثناء تطوره في الرحم. والتركيز هنا على مصلحة الحرية المرتبطة بفكرة أن الشخص عاقل وقادر على التعبير عن مصالحه، غير أننا إذا ما دخلنا في جدل قانوني وأخلاقي فإن المقولة السابقة لا تخلو من نقاط القوة والضعف.

نظرية العواقبية

يرى أنصار نظرية العواقبية (أي الحكم على الأمور بخواتيمها) أن المرء لا يصدر حكماً أخلاقياً على فعل ما إلا بعد النظر في غايته، والغايات النبيلة تسوغ الوسيلة التي توصل إليها. ويرى أنصار هذه النظرية أنه يمكن إجراء تجارب على الأجنة بل تدميرها لأن الغاية من دراسات الأجنة تفوق الأضرار الواقعة، بما في ذلك تدمير الأجنة؛ وإذا كانت معاناة الجنين أو وفاته أمراً غير مرغوب فيه من الناحية الأخلاقية (بالنسبة إليه أو بالنسبة إلى الآخرين)، فإن ذلك لا يقل في بشاعته عن معاناة مريض أو مجتمع أو أسرة بسبب مرض له علاج أو من الممكن معالجته بشيء من الدراسة، برغم أن المعالجة تعتمد على الخلية الجذعية وما يتطلبه ذلك من تدمير الأجنة.

وجهات النظر الدينية

تعبر ديانات معينة عن رأيها بشأن الإجهاض والتناسل والدراسات التي أجريت في هذا المضمار وأثارت جدلاً في الأوساط الطائفية والمنتديات الاجتماعية. ومن المهمّ في هذا السياق أن نستعرض وجهة النظر التي عبر عنها الفاتيكان منذ عام 1859 وهذا الرأي تتم الإشارة إليه في المناظرات السياسية أكثر من أي مكان آخر في الغرب؛ إذ يرى الفاتيكان أن الجنين يحصل على مكانةٍ أخلاقيةٍ من لحظة تخصيب البويضة. بل إن الفاتيكان ذهب أبعد من ذلك مؤخراً فربط بين تخصيب البويضة والمكانة الأخلاقية للجينات؛ حيث تنفخ الروح في الأجنة. وبما أن "التوأمة" يمكن أن تحدث حتى اليوم الرابع عشر، فإنه من الممكن أن تندمج لاقحتان. إن نظرية نفخ الروح على مستوى الجينات والبويضات المخصبة تواجه عقبات علمية لا تقل عن سابقتها.

معضلة المنشأ

لقد انصب الجدل الأخلاقي بشأن الخلية الجذعية الجنينية البشرية - بصرف النظر عن التبعات العلمية والدينية - على نشأة الخلية الجذعية الجنينية البشرية وإمكان حمايتها مثل الإنسان عند بلوغه. إن استخدام أجنة متبقية في أنابيب الاختبار بهدف دراسة الخلية الجذعية الجنينية البشرية إنما يثير تساؤلات عدة ومعقدة حول وضع الجنين، وقيمة الحياة الإنسانية، وإذا ما كانت هناك حاجة إلى وضع نظم معينة تقيد التدخل في الخلايا والأنسجة البشرية أو لا. ومن القضايا ذات الأهمية أيضاً هنا الموافقة الواعية والمدركة والإشراف على العمليات الخاصة بالخلية الجذعية والجينية البشرية وتنظيمها.

ويرى أولئك الذين يؤيدون دراسات الخلية الجذعية الجنينية البشرية أن الخلية الجذعية الجنينية - وإن كانت مُستمدة من الجنين نفسه - ليست جنيناً في حد ذاتها، وهكذا فإنها لن تنمو لتكون جنيناً غير مخلق أو طفلاً أو إنساناً بالغاً. فالخلية الجذعية هي الخلية التي يمكن أن تُستثار لتصبح نسيجاً بعينه، ولا يمكن أن تستثار لتصبح فرداً. كما أن الجنين في مرحلة الكيسة الجرثومية لا يكون قد طور أي أنسجة عصبية، لذا فإن استخراج خلايا جذعية لن يسبب ألماً للجنين. وبما أن الأجنة المستخدمة لدراسات الخلية الجذعية تؤخذ في العادة من الأجنة المتبقية في أنابيب الاختبار، ويتم التخلص منها لاحقاً في جميع الأحوال؛ لذا فإن مؤيدي دراسات الخلية الجذعية يرون أنه من الأفضل أن نستغل هذه الأجنة للوصول إلى علاجات لأدواء بعينها بدلاً من التخلص منها من دون فائدة.

بل يرى كثيرون أن الأجنة التي تؤخذ منها الخلايا الجذعية الجنينية البشرية ليست أجنة على الإطلاق، بل هي في مرحلة "ما قبل الجنين" أو هي خلايا إنسانية جزئية. وفي حالات عدة لا يحدث الحمل بتولد هذه الخلايا؛ ومن أمثلة ذلك الانتقال النووي لتخليق إنسان متماثل جينياً حيث تنمو كيسة جرثومية غير أنها ربما لا تكون قادرة على البقاء في مرحلة الزراعة في الرحم. ولكن، ما الجنين؟ وما معنى أن نشكل شيئاً يتصرف كالأجنة ولكنه لم يبق فترة كافية في الرحم؟

لقد جاء اقتراح لتسوية الخلاف المثار بشأن دراسات الخلية الجذعية مفاده أن يحصل العلماء على الخلية الجذعية من الأجنة من دون تدمير هذه الأجنة أو إتلافها.[9] وقد جاء الاقتراح بداية من معهد الصحة الوطني في الولايات المتحدة الأمريكية في عهد الرئيس بيل كلينتون، ثم تبنت إدارة الرئيس جورج بوش الاقتراح في جوهره، وألمحت إلى أنه ليس أمراً أخلاقياً أن ندمر الأجنة، غير أن بعض الخلايا الجذعية الجنينية البشرية قد أخذت بالفعل من أجنة متلفة بالفعل، ولابد من التمييز بين قضية توافر هذه الخلايا وقضية خلق خلايا جديدة من خلال إتلاف المزيد من الأجنة؛ لذا أصدر الرئيس جورج بوش مرسوماً نص على أن الخلايا الجذعية المأخوذة من أجنة متلفة قبل خطابه ستستحق دعماً فيدرالياً. وعلى حد تعبير الرئيس بوش فإن "الخلايا التي تم اتخاذ قرار بشأن حياتها أو موتها" ستكون مؤهلةً للاستخدام.[10] وقد أشار إلى أخذ 66 خط خلية جذعية من الأجنة "وهذا كاف تماماً" لاستمرار الدراسات على الخلية الجذعية.

لقد أثار منطق الرئيس وسياسته - كما كان متوقعاً - مخاوف عدة. وكان السؤال المهيمن حول إمكان وجود عدد كاف من الخلايا الجذعية الجنينية بالفعل. كما أن قضية ملاءمة خطوط الخلايا الجذعية الجنينية التي تم اشتقاقها بالفعل في زمن خطاب الرئيس بوش وندرتها لفتتا الانتباه إلى حقيقة أن الكثير من الخلايا الجذعية الجنينية البشرية خاضع لبراءات اختراع أمريكية ودولية، بل إن الكثير من الآليات المبتكرة الضرورية لاشتقاق الخلايا الجذعية وزراعتها وتخليقها أو تعديلها إنما هو خاضع أيضاً لحقوق الملكية الفكرية.[11] ولكن لنا أن نتساءل: هل يجب أن ننظر إلى الخلايا الجذعية والأجنة والكائنات الشبيهة بالأجنة أو الخلايا المأخوذة منها على أنها خاضعة بالفعل لقوانين الملكية الفكرية، سواء من خلال براءات الاختراع أو أي شكل من الحماية القانونية؟ وهل تحمل التسوية التي طرحها الرئيس بوش حلاً وسطاً بشأن فكرة بدء الحياة عند الحمل، أو تراها محاولة سياسية لتحقيق إجماع ما حول القضية؟ أتراها مجرد محاولة لمواجهة ما يجري في الساحة السياسية والدعم الساحق لأبحاث الخلية الجذعية في وجه أقلية معارضة مسموعة تشكل معظم الجماعة المحافظة عند مناقشة قضية الإجهاض؟

أما المشكلة المركزية الأخرى التي تثار في هذا السياق فهي إمكان أننا سنجيز تشكيل أجنة لأغراض البحث العلمي فحسب. هناك عموماً نوعان مختلفان من الأجنة: أولاً

تلك المصنفة على أنها أجنة "احتياطية" والتي تُعد من مخلفات عمليات التخصيب غير الناجحة في الأنابيب، وثانياً تلك المشتقة تحديداً من أجل إجراء اختبارات عليها. ويثير النوعان مخاوف أخلاقية عند بعض العلماء؛ غير أنه من المرجح أن يشكك أولئك الذين يدعمون الأبحاث في الطبيعة الأخلاقية للنوع الثاني تحديداً.

أما الرأي القائل بجواز استخدام الأجنة التي تُعد من مخلفات عمليات التخصيب غير الناجحة في الأنابيب وتحريم تخليق أجنة لأغراض بحثية صرف فينطلق من مقولة الفيلسوف الألماني إيمانويل كانت وتحديداً حول ما يراه خطأً أخلاقياً مطلقاً أن نعامل شخصاً ما على أنه وسيلة لتحقيق غاية ما، بدلاً من اعتباره أو اعتبارها نهاية في حد ذاتها. ويقول أولئك الذين لا يؤيدون استخدام الأجنة لأغراض بحثية صرف إنه من غير المقبول أخلاقياً أن نستخدم الأجنة لأغراض بحثية لأن ذلك بمنزلة استخدام الإنسان كوسيلة فحسب. وقد تنطبق بعض هذه الحجج على استخدام الأجنة تحت كل الظروف. أما في حال استخدام الأجنة من مخلفات عمليات التخصيب غير الناجحة في الأنابيب فإن الكثير من هذه الأجنة قد كَبُر أكثر من اللازم أو أنها غير ملائمة من الناحية التشكلية لزراعتها في الرحم، ولا منفعة لها؛ لذا فإن استخدام هذه الأجنة لأغراض بحثية لا يثير شكوكاً مثل الأجنة المخصصة في الأصل لأغراض بحثية. وبالمقابل، يقول معارضو هذا الرأي: إنه إذا ما أجيز قانونياً زراعة الأجنة من مخلفات عمليات التخصيب غير الناجحة فإن العلماء سيسعون لإنتاج أكبر عدد من الأجنة. بل إن كثيرين ممن لا يعارضون تخليق أجنة لأغراض بحثية من منطلق مقولات الفيلسوف الألماني كانت قد عبروا عن قلقهم من أن تخليق الأجنة لأغراض بحثية صرف قد يحط من قدر عملية الخلق ذاتها.

المضامين الإكلينيكية لعيادات التقنية التناسلية المساعدة

مهما كان شكل الخلايا الجذعية الجنينية المستخدمة في الأبحاث، فقد انتشر علماء الأجنة والأطباء السريريون والفنيون المختصون الممارسون للتقنية التناسلية المساعدة. وتتطلب عمليات تخليق الأجنة، وتحليلها، وتخزينها، وإزالتها من المُجمِّدات النيتروجينية ، أو إتلافها، التقنيات التناسلية المساعدة، والخبرة الإكلينيكية في هذا المجال، علاوةً على

المؤسسات المختصة والمتبرعين. وهذا صحيح سواء كانت الأجنة مخلقة من بويضات و/ أو مَنِيٍّ تم التبرع بهما لأغراض بحثية، أو أنهما حصيلة ثانوية للرعاية الصحية التناسلية؛ لذا فليس مفاجئاً لنا أن البرامج البحثية الضخمة اليوم في هذا المجال قد عينت أطباء التوليد، وأطباء الذكورة، وأطباء الغُدد الصم وعلاقتها بالأمراض التناسلية، بل علماء النفس المختصين الاجتماعيين المهتمين بالتقنيات التناسلية المساعدة.

هناك ثلاث قضايا أخلاقية رئيسية - عموماً - في سياق الحديث عن المشاركة في دراسات الخلية الجذعية:

- ما الظروف التي سيُسمح للمرضى أو من تُجرى عليهم الأبحاث فيها أن يتبرعوا بالمواد التوالدية أو التكاثرية كجزء من دراسات الخلية الجذعية، وخاصةً إذا كانت تلك الدراسات تتضمن تخليق أجنة لأغراض بحثية؟
- ما الذي يوجب أن يشارك الأطباء السريريون والمتخصصون التقنيون المشاركون في العمليات التوالدية أو التكاثرية في الاستخدامات غير التوالدية أو التكاثرية للتقنيات الاستنساخية من أجل تخليق خلايا جذعية عبر الانتقال النووي؟
- متى يمكن أن يتحمل الأطباء السريريون المشاركون في اشتقاق الخلايا الجذعية الجنينية المسؤولية عن إخفاق تلك الخلايا في التجارب السريرية أو فشلها في المعالجات القائمة عليها؟

ليس هناك من إجماع في الوقت الراهن بين المعنيين حول أي من القضايا الواردة سابقاً، غير أن هذه القضايا ستحظى باهتمام المختصين بالأخلاقيات الطبية ومجالس الأخلاقيات الطبية في الجمعيات المهنية مثل الجمعية الأمريكية للطب التكاثري في الولايات المتحدة الأمريكية.

الفصل السادس

الإرهاب الحيوي والأمن القومي

سو بايلي

يتعرض السلام والأمن الدوليان في الألفية الثالثة لأخطار متنامية. صحيح أن هذا الخطر قديم قدم البشرية نفسها، غير أنه بات يمثل اليوم تهديداً متزايداً على دول العالم. وقد بلغ خطر أسلحة الدمار الشامل حداً لم تتخيله البشرية من قبل. كما تغيرت العلاقة بين الحرب والسلم، في نطاقها وطبيعتها، بسبب التطورات العلمية المذهلة التي أعطت قدرات كارثيةً ومشؤومةً لأصحابها، سواء كانوا من المقاتلين أو الإرهابيين.

ويمثل الإرهاب الحيوي سلاحاً مرعباً في هذا العصر الجديد الذي يسوده الإرهاب بأشكاله المختلفة. ويقول الخبراء: الجمرة الخبيثة - على سبيل المثال - قادرة على الإبادة مثلها مثل القنبلة النووية. بل إن الأسلحة البيولوجية توصف - في العادة - بأنها القنبلة الذرية للأمم الفقيرة. وعلاوة على ذلك يمثل الجدري، الذي يعد مرضاً فتاكاً ومعدياً، تهديداً عالمياً كبيراً. ولا تقصر أسلحة الدمار الشامل على الأسلحة البيولوجية والكيميائية فحسب، بل تشمل أيضاً الأسلحة النووية فضلاً عن التهديد المستمر للأسلحة التقليدية.

وخلال عام 2002 تعرضت الولايات المتحدة الأمريكية لهجمة إرهابية من جهة مجهولة تمثلت في إرسال الجمرة الخبيثة المنثورة في مسحوق مريب عبر رسائل بريدية. أما الوفيات والإصابات، وإن كانت محدودة، فقد تركت أثراً عظيماً في الولايات المتحدة الأمريكية وحكومتها وشعبها. وبرغم أن هذه الهجمة كانت مقلقة ومزعجة - بل قاتلة في بعض الأحيان - فإنها تبدو هينة مقارنة بتقديرات منظمة الصحة العالمية التي تشير إلى أن الجمرة الخبيثة، إذا ما أطلقت بطرائق أخرى وتحت ظروف معينة أمكنها أن توقع إصابات لا تقل عن تلك التي توقعها القنبلة النووية.

العوامل البيولوجية

هناك مجموعة واسعة من الأسلحة البيولوجية التي يمكن استخدامها في الإرهاب البيولوجي. وربما كان من حسن الحظ أن الكثير منها غير مستقر أو متذبذب، أو من الصعب الحصول عليه وإنتاجه وتحويله إلى أسلحة. هناك قائمة طويلة من العوامل البيولوجية، غير أن أخطرها - كما يتفق على ذلك الكثيرون - : الجمرة الخبيثة، والجدري، وطاعون ذات الرئة، والبتيوليَّة (botulism)، وداء التُّلَرِّيات (tularemia)، والحمى النزفية.

الجمرة الخبيثة

خلال العصور الوسطى، وفي عام 80 بعد الميلاد تقريباً، وصف الهونيون داء فتك بخيولهم وماشيتهم. كما ورد في العهد القديم ورد ذكْر داء على أنه "الطاعون الخامس"، وأنه أتى على الكثير من بني البشر. ومن المرجح أن الجمرة الخبيثة هي التي كانت وراء هذه الأوبئة التي عرفتها البشرية منذ عهد بعيد. وفي عام 1700 قُتِلَ نحو 15000 شخص بسبب الجمرة الخبيثة المعوية في سانتو دومنغو. ومازالت الجمرة الخبيثة تصيب مناطق مختلفة من العالم، ولكن يبقى عدد ضحاياها محدوداً نسبياً. وعادة ما تصيب الجمرة الخبيثة المزارعين والأطباء البيطريين وعمال الطواحين ممن يعملون مع الحيوانات المصابة أو المنتجات الحيوانية الملوثة، وفي العادة يُشار إلى هذه الحالات على أنها مصابة بـ "الجمرة الخبيثة الرئوية" أو عُصيَّة الجمرة (Bacillus anthracis).

والجمرة الخبيثة جرثومة قديمة ومعروفة، ولكن تمت إعادة هندستها و"تسليحها" في العصر الحاضر لأغراض الحرب البيولوجية. واليوم هناك الكثير من السلالات المختلفة من هذه الجرثومة ولكل منها دنا فريدة. وعند معاينة الجمرة الخبيثة من خلال المجهر فإننا نرى شكلاً عَصوياً وبنية خطية تشبه في شكلها إلى حد بعيد عربات القطار. ويمكن الجمرة الخبيثة أن تعيش في بوغة خامدة لفترة طويلة. وتتسم مثل هذه البوغات بأنها مقاومة للحرارة وضوء الشمس بل للكثير من المبيدات، وهذا يجعل الجمرة الخبيثة الخيار المفضل للإرهابيين الذين يسعون لاستخدام الأسلحة البيولوجية. وما إن تلامس جرثومة الجمرة الخبيثة جسماً مضيفاً فإن البوغات تتحول إلى جراثيم نشيطة.

إن الجمرة الخبيثة - مثلها مثل الكثير من الجراثيم الأخرى - يمكنها أن تتعايش مع الإنسان، وليس ضرورياً أن تسبب مرضاً. وفي حقيقة الأمر يُعد جسم الإنسان حاضناً للكثير من الجراثيم التي هي في معظمها غير ضارة، ما لم يصل عددها إلى حد يسبب ضرراً، أو أن تغزو أجزاء من جسم الإنسان لا تقوى على مقاومتها. وحتى لو لامست جرثومة الجمرة الخبيثة جسم الإنسان فإن عدد البوغات هو الذي يحدد إلى حد بعيد احتمال أن الإصابة ستحدث أو لا. ومن العوامل الأخرى التي تحدد احتمال الإصابة أو عدمها وحدتها سن المصاب ومتانة مناعة جسمه، بل إن شكل المرض الذي تسببه الجمرة الخبيثة يعتمد على طريقة دخول الجرثومة إلى جسم الإنسان.

وعلى سبيل المثال، يمكن أن يصاب الإنسان بالجمرة الخبيثة المَعِديَّة ـ المعوية بسبب تناول اللحوم غير الجيدة الطهو. فعند هضم هذه اللحوم تبدأ الجرثومة بالتكاثر في أجزاء من القناة المَعِديَّة ـ المعوية منها البطن والفم والبلعوم. أما في حالة تكاثرها في المنطقة السفلية من القناة المَعِديَّة ـ المعوية (البطن) فإن أعراض الإصابة تشمل الغثيان والتقيؤ والإسهال. كما قد يحدث خمج أو تعفن عندما تجد السموم التي تطلقها البكتيريا طريقها إلى مجرى الدم. وفي حالة تكاثر الجرثومة في المنطقة العلوية من القناة المعدية ـ المعوية (الفم والبلعوم) فإن الإنسان يصاب بالتهابات في هذه المنطقة. وقد يؤدي هذا كله إلى تضخم العُقَدِ اللِّمفية فيسبب ذلك خمجاً.

وفي حال نفاذ الجرثومة إلى جسم الإنسان من خلال جرح أو خدش، فإن الإنسان يصاب بما يسمى الجمرة الخبيثة الجلدية. أما آفة الجلد ذاتها فهي غير مؤلمة عموماً، غير أن التهاب العُقَد اللِّمفية الذي يصاحبها قد يكون مؤلماً. وفي العادة تظهر آفة الجمرة الخبيثة على أجزاء الجلد المكشوفة، مثل الوجه والرقبة والذراعين والرأس؛ وهي نتيجة لاتصال مباشر مع مواد ملوثة بالجرثومة غير أنها قد تحدث في أعقاب إطلاق الجرثومة في الهواء واستقرارها على الجلد. أما فترة حضانة الجرثومة اللاحقة التعرض لأبواغ الجمرة الخبيثة فتمتد من يوم إلى اثني عشر يوماً. وتظهر أعراض الإصابة بدايةً في شكل ندبة صغيرة تشبه لدغة الحشرة، غير أنها سرعان ما تتطور لتصبح قُرحةً أو التهاباً مفتوحاً يشبه فوهة مفتوحة. ثم يتشكل ما يشبه الجَرَب الأسود على كل ندبة، علماً بأن اسم المرض مشتق من

لون هذه الندب؛ حيث إن كلمة (anthrax) الإنجليزية مشتقة من كلمة (anthracite) اليونانية التي تعني الفحم. وعند اشتداد حدة الإصابة قد تلتهب العقد اللِّمفية في الأجزاء المصابة والأجزاء المجاورة لها. وفي العادة تتساقط المناطق المصابة بالجرب من الجلد خلال أسبوعين من دون أن تترك أثراً يذكر. وقد تصاحب الإصابةَ أعراض مثل الحمى والصداع والوهن. وقد سُجِّلت في الولايات المتحدة الأمريكية 224 حالة إصابة بالجمرة الخبيثة الجلدية في الفترة 1944 ـ 1994. كما تُسجل نحو 2000 حالة مشابهة في أرجاء العالم سنوياً. ويمكن من خلال المضادات الحيوية أن نحول دون تطور الجمرة الخبيثة الجلدية إلى داء في نهاية الأمر، غير أن المعالجة بالمضادات الحيوية لا تمنع في العادة ظهور النُدب الجلدية أو تعالجها. وإذا بقيت الجمرة الخبيثة الجلدية من دون معالجة فقد تتحول إلى وباء يودي بحياة ما بين 20٪ و30٪ من المصابين بها.

إن أكثر أشكال الجمرة الخبيثة فتكاً هو ما يعرف باسم "الجمرة الخبيثة المستنشقة" أو "الجمرة الخبيثة الرئوية"، وتحدث هذه الإصابة عندما يستنشق المرء كمية كبيرة من جرثومة الجمرة الخبيثة لتجد طريقها إلى الرئتين. ولا يعرف الأطباء مقدار الأبواغ التي تسبب الإصابة معرفة محددة، غير أن الكثير من الخبراء يرون أن الحد الأدنى هو 10000 بوغة من أجل وقوع الإصابة، بيد أن الدراسات المخبرية الحديثة ونتائجها تشير إلى أن هذا العدد يتفاوت كثيراً من شخص إلى آخر. وقد يُردُّ هذا التفاوت إلى حقيقة أن شخصاً ما هو أكثر ضعفاً أو أقل احتمالاً لمحاربة الجمرة الخبيثة الرئوية، فيجعله هذا عرضة للإصابة بعدد أقل من الجراثيم. إن البيانات المتاحة التي يمكن الخروج باستنتاجات منها عموماً محدودة؛ ولكن يبدو أن عدد الأبواغ ذاته لا يحسم الإصابة أو عدمها.

لقد استخدمت الجمرة الخبيثة في الحرب البيولوجية أول مرة إبان الحرب العالمية الأولى عندما استخدم حيوان الرَّنة لنقل المؤن إلى قوات التحالف. ويقال: إن مؤامرة حيكت لإصابة الرَّنة بجرثومة الجمرة الخبيثة. ويُقال أيضاً: إن ألمانياً قبض عليه وهو يحمل قوارير جرثومة الجمرة الخبيثة وإنه كان يخطط لحقن الرَّنة بها. وعند فحص محتويات هذه القوارير عام 1998 تبين أن الأبواغ كانت ماتزال حية.

أما في الحرب العالمية الثانية فقد طورت كل الدول المشتركة في الحرب تقريباً برنامجاً للحرب البيولوجية، وقد تضمنت معظم برامجها التسليحية جرثومة الجمرة الخبيثة. وفي عام 1942 أجرت بريطانيا العظمى تجارب على الجمرة الخبيثة في جزيرة تقع قرب سواحل اسكتلندة. وقد تم إشعال النار في الجزيرة بعد الانتهاء من التجربة في محاولة للقضاء على جرثومة الجمرة الخبيثة، غير أنه تبين لاحقاً بعد أن خمدت النار أن عدداً كبيراً من الأبواغ كان مازال حياً ونشيطاً. وفي عام 1943، بدأت الولايات المتحدة الأمريكية تجاربها على الأسلحة البيولوجية، ومنها الجمرة الخبيثة. واستمرت التجارب الأمريكية المشابهة إلى أن أصدر الرئيس نيكسون قراراً تنفيذياً عام 1969 بوقف البرنامج، بينما تم تدمير المخزون الأمريكي من الأسلحة البيولوجية بين عامي 1971 و 1972.

أما في سفيردلوفيسك، في الاتحاد السوفيتي السابق، فقد تسببت حادثة انطلاق جرثومة الجمرة الخبيثة خطأً من منشأة بحثية عسكرية تُعرف باسم المجمع 19 في أسوأ حادثة موثقة لتفشي جرثومة الجمرة الخبيثة في التاريخ الحديث؛ إذ أصيب القاطنون بالقرب من المجمع بالحمى وعانوا صعوبةً في التنفس؛ وقد تراوح عدد ضحايا الحادثة لاحقاً ما بين 200 و1000 شخص. ففي البداية، لم يُكشف النقاب عن انطلاق جرثومة الجمرة الخبيثة، وأنحى المعنيون باللائمة على اللحوم الملوثة. غير أنه في عام 1992 اعترف الرئيس الروسي السابق بوريس يلتسين بالحادثة ملقياً اللوم على حادثة انطلاق جرثومة الجمرة الخبيثة العرضية.

وفي أعقاب حرب الخليج الثانية عام 1991 تحققت فرق التفتيش التابعة للأمم المتحدة من القدرات البحثية والتسليحية العراقية في مجال الأسلحة البيولوجية؛ وتُعَد تلك أول حالة مثبتة في العصر الحديث لدولة امتلكت الأسلحة البيولوجية وخططت لها. وقد اكتشفت فرق الأمم المتحدة أن القنابل قد جُهزت فعلاً بالجرثومة وأن العراق قد أنتج 8500 لتر من جرثومة الجمرة الخبيثة المركزة (6500 لتر منها محملة في الذخيرة الحية). وبعد أن أثبتت فرق الأمم المتحدة امتلاك العراق للجرثومة لقحت الولايات المتحدة الأمريكية قواتها ضد الجمرة الخبيثة.

وليس هناك من معلومات مؤكدة عما تملكه دول أخرى من الجمرة الخبيثة وقدراتها في هذا المجال، غير أن هناك قلقاً متزايداً في العالم من تحديات الحرب البيولوجية.

وتبذل الولايات المتحدة الأمريكية جهوداً دؤوبةً لمواجهة مخاطر الإرهاب والحرب البيولوجية. كما يبذل الأطباء جهوداً حثيثةً للإحاطة بتداعيات أسلحة الدمار الشامل وتبعاتها، وتحديد أفضل السبل لمواجهتها. وتضع نظم الصحة العامة والسلطات المحلية والفيدرالية متطلبات جديدة لمواجهة الأسلحة البيولوجية. وينسق القائمون على قضية الأسلحة البيولوجية، على المستويين المحلي والفيدرالي، جهودهم في هذا الصدد؛ لذا فهم الآن أكثر قدرة على مواجهة خطرها بطريقة فاعلة، من خلال تعزيز قدراتهم لرصدها، ومراقبتها، ومعالجتها، وتبادل المعلومات حولها.

الجدري

ينتاب العالم اليوم قلق من أن تقع فيروسات الجمرة الخبيثة - التي كان يُعتقد أنها مخزنة في مكانين آمنين - في يد أولئك الذين يسعون لأن يبيدوا بها الأرض ومن عليها. وفي حقيقة الأمر، هناك مداولات ومناقشات بين قادة العالم وكبار مستشاريهم للشؤون العلمية تدور حول تدمير البقية المتبقية من فيروسات الجدري التي تم تخزينها في الأصل لأغراض بحثية صرف؛ فقد تنشأ الحاجة إلى معلومات عن الجدري في المستقبل لا يمكن الحصول عليها إلا بدراسة مستفيضة للفيروسات المخزنة. ولو حدث أن تفشى الجدري يوماً ما في مكان ما فإن ذلك يعني - حتماً - أن جهةً ما أطلقت الفيروسات المخزنة عن عمد.

لقد عرف الإنسان الجدري بعد أن أصيب به منذ قرون عدة، وقد شكل الجدري وباءً فتاكاً، حتى إنه قضى على أمم وأتى على جيوش. فقد نشر الإسبان - على سبيل المثال - داء الجدري بين الأزتكيين المستضعفين. كما أن انهيار الحضارة الأزتكية - في حقيقة الأمر - مرده إلى حد بعيد إلى فيروس الجدري.

أما في القرن العشرين، فيقدر عدد الذين لقوا حتفهم بسبب الجدري بنحو ثلاثمائة مليون نسمة. وقبل اكتشاف لقاح الجدري، لم يكن هناك من طريقة للوقاية من الجدري، بل إننا لا نعرف حتى يومنا هذا طريقة لعلاجه.

وكانت منظمة الصحة العالمية قد أعلنت عن القضاء على الجدري عام 1980؛ غير أن هناك مخاوف متزايدة من أن فيروسات الجدري المخزنة لأغراض بحثية خالصة لم تعد آمنة

كما كانت، وقد تقع في يد أولئك الذي يسعون لشن حرب أو عمليات إرهابية ضد أعداء لهم أو ضد شعوب كاملة. وقد توقف تطوير لقاح الجدري في الأساس عام 1980، وهذا يجعل عالمنا غير محمي من هذا المرض القاتل.

ويحق لنا – نحن بني البشر – أن ينتابنا القلق من احتمال عودة الجدري سواء في شكل عمليات إرهابية أو حرب بيولوجية، ويخبرنا التاريخ عن حوادث مشابهة. ويُقال: إن البريطانيين قد حاولوا أن يصيبوا الأمريكيين الأصليين بداء الجدري بأن أرسلوا إليهم بطانيات تدثَّر بها مصابون بالجدري. ومن المعروف أيضاً أن اليابان فكرت جدياً باللجوء إلى فيروس الجدري في الحرب العالمية الثانية.

وقد سعت الولايات المتحدة الأمريكية وغيرها من الدول لوضع خطط ترمي إلى إعادة تطبيق برنامج لقاحات للعامة ضد الجدري عند الضرورة. وهذا ذاته يدل على مدى القلق من احتمال شن هجمات إرهابية بفيروس الجدري.

وقبل عام 1980 اعتمد الأطباء ما عرف باسم "اللقاحات المطوِّقة" للتصدي لحوادث تفشي الجدري لأسباب طبيعية. وتقوم "اللقاحات المطوِّقة" على مبدأ المبادرة إلى تلقيح المصابين بالجدري والمحيطين بهم على الفور. وقد نجحت هذه الطريقة تماماً في المجتمعات المحدودة، غير أنه من الواضح أنها لن تحقق نجاحاً مماثلاً في المجتمعات الممتدة أو المتنقلة.

ونقل باحثو كليتي الإدارة والطب في جامعة ييل الأمريكية في "وقائع الأكاديمية الوطنية للعلوم" في تموز/ يوليو 2002 أن اللقاحات الجماعية أكثر فاعلية من اللقاحات المطوِّقة. وخلص الباحثون إلى أنه في حال تنفيذ اللقاحات الجماعية في مدينة يبلغ تعداد سكانها 10 ملايين نسمة، فإن 560 شخصاً سيلقون حتفهم، على حين أن 4680 شخصاً سيلقون حتفهم في حال تطبيق اللقاحات المطوِّقة.

وتصنف الفيروسات الجدرية التقليدية في قسمين أو سلالتين: الجدري الكبير والجدري الصغير. أما فيروسات الحمى الجدرية فتضم مجموعة من الفيروسات تحتوي دنا

ومستضدات مشتركة. ويمكن التمييز بين الفيروسات الجدرية وفيروسات الحمى الجدرية استناداً إلى حدة الندب الجلدية.

والجدري مرض معدٍ وإن كان أقل عدوى من الحصبة والإنفلونزا. وينتقل الجدري بالاتصال المباشر أو من خلال قُطيرات معلقة في الجو، وإن كان غالباً ما يتطلب اتصالاً وجهاً لوجه. وينتقل المرض في المراحل الأولى من خلال الإفرازات الخيشومية؛ غير أن الندب نفسها تصبح معديةً في نهاية المطاف. وتمتد فترة حضانة الفيروس ما بين تسعة أيام وخمسة عشر. وتكون العدوى في أوجها في الأسبوع الأول من الإصابة، ولكن قد تظل العدوى قائمة إلى حين تشكل الندب وزوالها.

وتمر الإصابة بمراحل عدة، هي: المرحلة العرضية، تتبعها المرحلة الطَّفحية الأولية، تليها المرحلة التحوصليَّة، وأخيراً تتم المرحلة البَثْرِيَّة. ويبدأ الجدري بأعراض تشبه أعراض الإنفلونزا، بما فيها الحمى والصداع وألم في العضلات. وبعد مضي ثلاثة أيام أو أربعة تخف الحمى شيئاً فشيئاً لتبدأ الندب الجلدية التي تعد السمة المميزة للجدري في التشكل. وتبدأ الندب في العادة في التشكل في الفم والوجه ثم تمتد إلى الأطراف وبقية أجزاء الجسم. وقد تتشكل الندب في أنحاء متفرقة من الجسم وقد تغطيه تماماً. والأعراض التي ذكرناها تميز الجدري في أشكاله المعتدلة، وقد تشتد الإصابة بالجدري لتشمل نزفاً في الندب وآخر في الأغشية المخاطية، يلي ذلك صدمة قوية وحالة غيبوبة تنتهي بوفاة المصاب في غضون ثلاثة أيام أو أربعة بعد انتهاء فترة حضانة الفيروس. وليس هناك من معالجة – في الحقيقة – إلا رعاية المصاب ودعمه. ويأمل الأطباء أن تكون العقاقير الدوائية المضادة للفيروسات نافعة في مثل هذه الحالات.

السُّمِّيات

تعد قضية السُّمِّيات من القضايا التي تسبب قلقاً بالغاً في سياق الحديث عن الإرهاب الحيوي، والسميات توصف في العادة بأنها سموم أو مواد سامة تنتجها الحيوانات أو النباتات. ومن حسن الحظ أن السميات لا تتكاثر مثل البكتيريا أو الفيروسات. وهي لا تعد مواد متطايرة مثل المواد الكيميائية، كما أنها لا تؤثر عادة في الجلد؛ لذا يتعين إطلاق

معظم السميات على شكل ذرات في الهواء، ومن الصعب إنتاجها بكميات ضخمة. غير أنها تعد - بسبب قدرتها على الفتك - من تهديدات الحرب البيولوجية الخطيرة.

ومن أهم السموم التي تثير قلقاً بالغاً الذِّيفان المعوي العنقودي ب (staphylococcus enterotoxin B)، والسموم الفُطْرِيَّة تي-2 (T-2 mycotoxins)، والسموم الوشيقية (botulinum toxin). وتثير السموم الوشيقية قلقاً خاصاً؛ لأنها من أفتك السموم على وجه الأرض. وهناك ذُوفان خماسي التكافؤ (pentavalent toxoid) للسموم الوشيقية، غير أن المعالجة الرئيسية لها تتمثل في إزالة السمّ والتهوية الكافية. ومن أهم أعراض هذه السموم التحدث بألفاظ متداخلة وغامضة بالإضافة إلى الوهن الذي قد يؤدي إلى الشلل.

العوامل الكيميائية

يعود استخدام العوامل الكيميائية في الحروب إلى قرون مضت؛ وقد تم توثيق استخدامها في حرب البيلوبونيز؛* إذ استخدم الخصمان الكبريت ودخان الفحم سلاحين تم إطلاقهما من جذوع الأشجار المجوفة. وقد أضاف اليونانيون القار، والنفثالين، والجير، ونترات البوتاسيوم إلى هذه التوليفة وسموها النار اليونانية.

ومع تقدم الكيمياء في القرن الثامن عشر ازداد الاهتمام بالحرب الكيميائية فأثار ذلك في نهاية الأمر الجدل المحتدّ الآن حول القضايا الأخلاقية بأبعادها المختلفة. لقد اشتركت أممٌ عدة في الصراع الدائر الآن بين القدرات الجزيئية العلمية وأخلاقيات الحرب. وقد تضمنت اتفاقية جنيف لسنة 1907 قراراً بشأن استخدام الأسلحة الكيميائية في أرض المعركة.

وفي الحرب العالمية الأولى استخدمت ألمانيا وبريطانيا الكلور والفوسجين (وهو غاز عديم اللّون كريه الرائحة) في أرض المعركة، ثم حملت القذائف الألمانية عام 1917 غاز الخردل. ولم يسبب غاز الخردل أمراضاً في الرئتين فحسب بل سبب أعراضاً ثابتةً ومستمرةً، وسمَّم الجنود الذين لمسوه أو استنشقوه. وقد غير استخدام مثل هذه الأسلحة

* حرب اندلعت بين أثينا وإسبارطة بين عامي 431 و404 قبل الميلاد في محاولة للسيطرة على شبه جزيرة بيلوبونيز. (المترجم)

طبيعة أرض المعركة؛ إذ أضحى من الضروري بعد هذه الحادثة استخدام أقنعة الغاز والملابس الواقية في نهاية الأمر. وبرغم أن أقل من 5٪ من المصابين قضوا نحبهم في نهاية الأمر فإن المعالجة من آثار غاز الخردل استمرت أسابيع متواصلة وشكلت عبئاً كبيراً على فرق الدعم الطبية. وقد أظهر ذلك بوضوح تام فاعلية العوامل الكيميائية في الحروب؛ لينذر ذلك - أيضاً - بالتوجهات الإرهابية الجديدة.

وخلال الحرب العالمية الثانية طورت ألمانيا، كما نعرف الآن التابون (Tabun) - وهو فُسفات عضوية سامة - وغاز السارين المشابه للأول غير أنه أكثر فتكاً منه لقدرته على إصابة الأعصاب. وبرغم عدم استخدامه في أرض المعركة فإن السِّيانيد - وهو مادة كيميائية قاتلة - استخدم في معسكرات الاعتقال. ومن المحتمل - أيضاً - أن اليابان استخدمت المواد الكيميائية ضد الصين غير أننا لا نملك أدلة حاسمة على ذلك، ولم تستخدم أسلحة كيميائية أخرى بحسب علمنا في الحرب العالمية الثانية.

ومنذ الحرب العالمية الثانية تواصل إجراء الدراسات حول الأسلحة الكيميائية، كما واصلت دول العالم تخزينها، وقد وردت تقارير كثيرة حول استخدام مثل هذه الأسلحة في ساحة المعركة وفي نزاعات بعينها. وقد استخدمت الولايات المتحدة الأمريكية المُنَزِّوات (defoliants) وغازات مكافحة أعمال الشغب في فيتنام؛ كما اتهمت مصر باستخدام غاز الخردل ضد اليمن الشمالي، ويقال: إن الاتحاد السوفيتي استخدم المواد الكيميائية في أفغانستان. كما تحدثت تقارير عن استخدام العراق في الثمانينيات المواد الكيميائية ضد إيران، بينما أكدت تحقيقات أجرتها الأمم المتحدة استخدام غاز الخردل والتابون. بينما وردت تقارير لاحقاً عن استخدام العراق غاز السارين، وربما كانت إيران قد شنت هجمات انتقامية بأسلحة كيميائية مشابهة.

وتواصلت منذ ذلك الحين دراسة العوامل الكيميائية كما تواصل تخزينها والمتاجرة بها حول العالم من دون أي رقابة تذكر على الصعيدين الوطني والدولي. وفي الوقت الذي شهدت فيه الولايات المتحدة الأمريكية هجمات بالجمرة الخبيثة كان هناك نحو 250

"مركزاً لزراعة" الجمرة الخبيثة تبيع المواد البيولوجية الفتاكة مقابل ثمن بخس. وفي العادة كانت القضايا الأمنية من مسؤولية المؤسسات العامة والأكاديمية والخاصة. واليوم هناك نحو 24 دولة قادرة على إنتاج الأسلحة الكيميائية. وبرغم أن الولايات المتحدة الأمريكية تملك بعض الأسلحة الكيميائية فإنها تحت وصاية الكونجرس الأمريكي وهي قيد التدمير. ويتم الآن حرق الكثير من هذه المواد في مواقد أُعدت خصيصاً لذلك، بينما يتم التخطيط الآن لإقامة مواقد جديدة لتدمير المواد الكيميائية القائمة.

وهناك الكثير من المواد الكيميائية التي يمكن استخدامها في الهجمات سواء في الحرب الدفاعية أو الهجمات الإرهابية. غير أن الفائدة منها تعتمد على عوامل عدة، منها تطايرها واستمرارها. ويمكن أن تكون هذه المواد فعالة في أشكال مختلفة، بما في ذلك المواد الصلبة والسائلة والغازية أو البخارية. ويعتمد شكلها على عاملين، هما: الحرارة والضغط. وفي ظل هذه المعطيات فإن فاعلية أي من العوامل الكيميائية تعتمد اعتماداً كبيراً على المناخ وحركة الريح والبيئة التي يتم فيها التعرض للعوامل الكيميائية.

العوامل الرئوية

تؤثر العوامل الرئوية – كما هو واضح من اسمها – تأثيراً رئيسياً في الرئتين، وتسبب قِصَر النفس والاستسقاء، أي وجود سوائل زائدة في الرئتين. وقد تسبب العوامل الرئوية تهيجاً في العينين وفي القنوات الهوائية. وتعالج مثل هذه الحالات أساساً بتناول كميات كبيرة من الماء، إذا ما أصاب التسمم الماء، والهروب إلى مناطق غير ملوثة بالهواء المسمم أو الأكسجين الصناعي بالنسبة إلى الغازات المتطايرة.

ويُعد الفوسجين سلاحاً كيميائياً من فترة الحرب العالمية الأولى، وهو من أهم العوامل الرئوية المستخدمة لأغراض هجومية. ومن المواد الخطيرة الأخرى التي قد تصيب الرئتين ويمكن استخدامها في الهجمات الإرهابية دخان الزِّنك وأكسيدات النيتروجين.

ويعد السيانيد أيضاً من العوامل الرئوية، غير أنه لا يكون قاتلاً أو فتاكاً إلا في الجرعات المكثفة منه، وهو الأمر الذي يصعب تحقيقه في معظم الأحوال. وتشمل هذه

الفئة من العوامل الرئوية أيضاً مواد حَمْض الهيدروسيانيك وكلوريد السِّيانوجين. وقد يصيب السيانيد بنوبات كما قد يصيب الإنسان بسكتة تنفسية أو قلبية. وبسبب تبخر السيانيد وتبدده بسرعة فإن المعالجة منه تتمثل في نزع الملابس وتوفير الماء. وتعد نترات الصوديوم وثيوكبريتات الصوديوم المعطاة عن طريق الأوردة ترياقاً مناسباً، غير أن المعالجة تتطلب أيضاً معالجة الحُماض (حالة صحية تقل فيها قلوية الدم والأنسجة) وتوفير الأكسجين.

المنفِّطات

وتشمل المنفِّطات خردل الكبريت واللويسيت وأكسيم الفوسجين. وتؤثِّر المنفِّطات في العموم في الجلد والعينين والتنفس. وتعمل المنفِّطات بطريقة متماثلة؛ إذ تسبب (تنفطاً أو تبثراً في الجلد، كما تسبب ألماً وتهيجاً في العينين. ويبقى خردل الكبريت غير نشيط ساعات عدة)، غير أن المنفطات الأخرى تسبب تهيجاً مباشراً وتظهر آثارها تباعاً. وقد يسبب خردل الكبريت ألماً في المعدة والأمعاء، وقد يمتد أثره إلى النِّقْي أو مخّ العظام.

وفي العادة تُعالج المنفِّطات بـ 0.5٪ من الهيبوكلوريت، ويعد الماء ضرورياً للحؤول دون تدهور الحالة. ويعد اللويسيت المضاد البريطاني ترياقاً للويسيت؛ علماً أنه ليس هناك من معالجة محددة باستثناء رعاية المصاب.

المواد التي تصيب بالشلل

من المواد الكيميائية التي تصيب بالشلل BZ والعامل 15، ومن المرجح أن هناك علاقة وثيقة بين الاثنين. ويبدو أنه خلال أزمة الرهائن المحتجزين في أحد مسارح موسكو في تشرين الأول/ أكتوبر 2002 استخدمت القوات الروسية مخدراً عاماً (هو الفينتانيل) بهدف إصابة الإرهابيين بالشلل، وقد بينت الحادثة مدى فاعلية استخدام العقاقير المخدرة والمنوِّمة والمهدئة في مثل هذه الحالات. ويستخدم غازا: CS (وهو من الغازات المسيلة للدموع) وCN للغاية نفسها في عمليات مكافحة الشغب. وتختلف حالة الإصابة

وأعراضها باختلاف المادة الكيميائية المستخدمة. وعند استخدام المواد المهيِّجة يوصى المصاب بأن يتناول ماء كافياً وأن يستنشق هواءً نقياً. أما المصاب بالعقاقير المخدرة فينصح بتناول ترياق ناركان (Narcan) على أن تتوافر له رعاية طبية وتهوية كافية.

وفي عام 1997 صادقت 147 دولة على اتفاقية الأسلحة الكيميائية. وقد حظرت الاتفاقية استخدام غاز الأعصاب وغاز الخردل وغاز VX وغاز السارين وغيرها من المواد الكيميائية الفتاكة. غير أنها سمحت بالمواد الكيميائية الأقل خطراً؛ لأغراض "تطبيق القانون" مثل الغاز المسيل للدموع ورذاذ الفُلفُل وما يشبههما. ومن المواد المحظورة لأغراض عسكرية مادة الفينتانيل غير أنه أجيز استخدامها في أوضاع داخلية محدودة وتحت سيطرة تامة.

غازات الأعصاب

وأخيراً، تثير غازات الأعصاب قلقاً كبيراً عند الحديث عن الهجمات الإرهابية؛ حيث إنها من أشد المواد الكيميائية فتكاً. ومن أكثر المواد التي تسبب قلقاً في الوقت الراهن التابون GA والسارين GB والسومان GD وGF وVX. هذه المواد فتاكة إلى درجة أنها تقتل خلال دقائق معدودة؛ حيث إنها تثبط إسْتِرازُ الأسيتيل كولين (acetylcholinesterase)، وهو أنزيم يحول دون إفراط إحدى الناقلات العصبية وهو الأسيتيل كولين (acetylcholine)؛ حيث يؤدي ذلك الإفراط إلى تغيير الطبيعة الوظيفية للجهاز العصبي. وتسبب غازات الأعصاب ضيقاً في التنفس وإفرازات مفرطة إذا ما تعرض الإنسان لها بكميات محدودة في الحالة البخارية؛ أما إذا زاد التعرض لها فقد يفقد المصاب الوعي، ويصاب بتشنجات وشلل تام إلى أن يتوفى في نهاية الأمر. أما في حال تعرض الإنسان لها بكميات محدودة في الحالة السائلة فإنه يتصبب عرقاً، ويصاب بالوهن، والغثيان، والتقيؤ؛ وإذا ما تعرض لكمية أكبر فإنه يصاب بأعراض تشبه تلك التي يعانيها من يتعرض لكمية كبيرة في الحالة البخارية، أو لعل الموقف هنا يكون أكثر فتكاً.

ومن الوسائل الدفاعية ضد غازات الأعصاب أجهزة الرصد التي تكشف وجود غازات الأعصاب بالإضافة إلى الملابس الواقية والأقنعة الواقية. إن المعالجة الفورية تعتمد على

نوع غاز الأعصاب وحالته وكميته، غير أنها تشمل الأتروبين (atropine) والبرالادوكسيم (praladoxime) والديازيبام (diazepam). ومن الضروري أيضاً توفير الرعاية الصحية الكاملة للمصاب.

وقد أظهر الهجوم بغاز السارين في أحد أنفاق طوكيو عام 1995 صعوبة مواجهة هجمة إرهابية بغازات الأعصاب. وفي تلك الحالة تحديداً حدّدت الأعراض التي ظهرت على المصابين طبيعة الغازات السامة. وكانت طرائق المعالجة غير كافية، ولم يتوافر في تلك اللحظة الترياق المناسب، وربما تم تقديمه متأخراً، وغصت المستشفيات بالمصابين. ولعل هذه الهجمة بغاز الأعصاب مثال واضح على الصعوبات التي نواجهها في معالجة مصابين بمادة كيميائية قلما نراها بعيداً عن أرض المعركة. كما تظهر الحادثة المذكورة أن النظم الصحية مهما تطورت فإنها لن تكون قادرة على مواجهة الإصابات الجماعية. إن الجيوش تواجه في ساحة الحرب عموماً خطر غازات الأعصاب أكثر من غيرها، غير أنها أكثر استعداداً من المدنيين العزل لمواجهة الهجمات الإرهابية الكيميائية.

الأسلحة التقليدية

يستخدم الإرهابيون في العادة أسلحة تقليدية وطرائق بسيطة عند تنفيذ أنشطتهم الإرهابية. وتعد القنابل والمتفجرات على اختلاف أنواعها أكثر الأسلحة التقليدية استخداماً. بينما تضم ترسانة بعض الجماعات الإرهابية البنادق والألغام والقنابل اليدوية والقذائف. وبرغم أن الجماعات الإرهابية قلما تطلق الصواريخ، فإن قلة من هذه الجماعات تملك بالفعل صواريخ أرض ـ جو تطلق من الكتف وتكون قادرة على إسقاط طائرات الهيلوكوبتر والطائرات العسكرية والطائرات المدنية. وبرغم أن أعداداً كبيرة من المدافع الرشاشة تُصنع اليوم، وهي موجودة بالفعل في حوزة إرهابيين محتملين، فإننا لن نخوض في تفاصيل ذلك في هذا المقام.

وقد تم بالفعل استخدام القنابل وما يشابهها من المتفجرات في الكثير من الهجمات الإرهابية، وخاصة في الهجمات الانتحارية. وتصنف القنابل في قسمين رئيسين، هما:

القنابل المتفجرة والقنابل الحارقة (مثل القنابل اليدوية الحارقة). كما يستخدم الإرهابيون الرسائل والطرود الملغومة.

قلةٌ من القنابل الحربية (باستثناء تلك التي تُقذف من الطائرات) تُصنع اليوم على نطاق واسع مثلما كان الأمر خلال الحرب العالمية الثانية. ويستثنى من ذلك الألغام الأرضية، ومنها الألغام المضادة للأفراد وتلك المضادة للدبابات. ويمكن تهيئة الألغام من دون صعوبة تُذكر ومن دون الحاجة إلى خبرة هندسية متخصصة. وهناك الآن نحو 300 نوع من الألغام الأرضية مزروعة في مناطق متفرقة من العالم، وهي تقتل عشرات الآلاف من البشر سنوياً.

ويجمع الإرهابيون معظم القنابل التي بحوزتهم بطريقة مرتجلة. وفي العادة تكون المادة المتفجرة مسروقة أو مختلسة من مستودعات عسكرية أو أخرى تجارية خاصة بالمواد المتفجرة، وقد تُصنع من الأسمدة أو غيرها من المواد المتوافرة بالفعل في المنازل. وتُعرف القنابل التي تجمع بهذه الطريقة بالمتفجرات المرتجلة.

أمن حقائب السفر

منذ أحداث 11 أيلول/ سبتمبر 2001 أضحى أمن الطائرات من أهم القضايا الأمنية المطروحة، وبات المسافرون وأمتعتهم يخضعون لعملية تفتيش دقيقة. وفي المطارات التجارية تمر الأمتعة الخاصة الآن تحت أجهزة فحص دقيقة على مرحلتين؛ وفي حال اقتضى الأمر، تُحول الأمتعة إلى المرحلة الثالثة حيث تخضع لعملية تصوير طبقية بواسطة الحاسوب لرصد أي آثار مريبة فيها. وفي الولايات المتحدة الأمريكية تُعد عملية التصوير الطبقية بواسطة الحاسوب التقنية الوحيدة المعتمدة لدى إدارة الطيران الاتحادي. ومادامت هذه التقنية بطيئة فإنها لا تستخدم إلا عند الضرورة في المرحلة الثالثة تحديداً، ويتم تجنب هذه التقنية في المرحلتين الأولى والثانية في المطارات المزدحمة.

التهديد بالعربات والشاحنات

تفكر ولايات أمريكية عدة في الوقت الحاضر بتطبيق نظام تحديد المواقع العالمي أو تقنيات مشابهة تسهل على الجهات الأمنية أن تتعقب الشاحنات التي تحيد عن طريقها

بحسب الخطة المتفق عليها وتراقبها، وربما تحول مسارها، أو توقفها، وخاصة إذا كانت هذه الشاحنات تحمل مواد متفجرة أو خطيرة، أو إذا كان مسارها المحدد لها يمر بالقرب من منشآت نووية أو أهداف محتملة لعمليات إرهابية؛ مثل: المجمعات المزدحمة أو الاحتفالات واللقاءات العامة. وتدعم صناعة النقل هذه الإجراءات، بينما تسعى جمعيات أمريكية، ومنها جمعية سائقي الشاحنات الأمريكية، لتطوير برامج جديدة لمراقبة الشاحنات والتأكد من خلفية سائقي عربات الشحن.

الأسلحة النووية

يُعدّ الإشعاع مصدراً من مصادر الطاقة المنطلقة من أدوات من صنع الإنسان؛ مثل: أفران المايكروويف، وآلات الأشعة السينية، والقنابل النووية. ومن مصادر الإشعاع الثانوية نسبياً الشّمس والفضاء الخارجي بالإضافة إلى اليورانيوم وغيره من العناصر ذات النشاط الإشعاعي، والموجودة بمقادير متفاوتة في تربة الأرض. وتسهم هذه المصادر في الإشعاعات الضئيلة التي يمكن استنشاقها أو استهلاكها عند شرب الماء أو أكل الطعام. أما الإشعاعات التي تدخل الجسم عبر الفم أو الجلد أو الرئتين أو الأغشية المخاطية فينجم عنها تعرض الأعضاء الداخلية للإشعاعات، وقد يتعرض جسم الإنسان من الخارج للإشعاعات من دون أن تخترق جلده. وفي العادة يقاس التعرض للإشعاع بوحدة "رِم" (rem) أو "سيفيرت" (sievert) (يُعادل السيفيرت الواحد 100 رِم). ووفقاً لمراكز مراقبة الأمراض في أتلانتا بولاية جورجيا الأمريكية فإن الإنسان المتوسط في الولايات المتحدة الأمريكية يتعرض لنحو 0.33 رِمْ سنوياً. ويأتي نحو ثمانين بالمائة منها من مصادر طبيعية، على حين ترد العشرون بالمائة المتبقية إلى أدوات طبية للأشعة السينية، وغيرها من الأدوات التي صنعها الإنسان.

وتشكل نظرية النسبية عند ألبرت أينشتاين جزءاً مهماً من جوهر فهمنا للفيزياء الذرية. ولقد توصل إنريكو فيرمي (Enrico Fermi)، وأوتو هان (Otto Hahn)، وفريتز شتراسمان

(Fritz Strassmann)؛ وليز مايتنر كي (Lise Meitner Key) جميعاً إلى اكتشافات بشأن الانشطار النووي في ثلاثينيات القرن المنصرم. وقد وضع هؤلاء بأعمالهم الريادية حجر الأساس لتطوير الأسلحة النووية في أربعينيات القرن الفائت. وقد تم تطوير القنابل النووية الأولى واختبارها ضمن مشروع مانهاتن في الولايات المتحدة الأمريكية، وتم إسقاط القنابل التي اخترعت نتيجة لذلك على مدينتي هيروشيما وناجازاكي اليابانيتين في محاولة لإنهاء الحرب العالمية الثانية.

وبعد ذلك بأعوام معدودة، بدأت الحرب الباردة عندما فجر الاتحاد السوفيتي قنبلة نووية عام 1949. وفي خمسينيات القرن نفسه بدأ أناس معنيون وهيئات معنية عدة ببناء ملاجئ ضد القنابل النووية ذات جدران أسمنتية سميكة و/ أو طبقة رصاصية. وعمدت الولايات المتحدة الأمريكية إلى نشر أول صواريخ بالستية عابرة للقارات عام 1958 خلال الحرب الكورية.

وفي ستينيات القرن المنصرم انضمت فرنسا والصين إلى ما يُسمى بـ"النادي النووي"؛ وكادت أزمة الصواريخ الكوبية تشعل حرباً نوويةً. وعندما بدأت الحرب الفيتنامية أدت احتجاجات عدد من المواطنين الأمريكيين إلى ظهور ما يُعرف باسم "معاهدة حظر انتشار الأسلحة النووية" التي تعهدت بموجبها القوى العظمى بنزع الأسلحة النووية تماماً. وفي مطلع السبعينيات تم التوقيع على معاهدة الحد من الأسلحة الاستراتيجية الأولى واتفاقية الصواريخ المضادة للصواريخ البالستية، وتبع ذلك التوقيع على اتفاقية الحد من الأسلحة الاستراتيجية الثانية التي تم التوصل إليها مع نهاية الحرب الفيتنامية. وبعد ذلك وقعت حادثة جزيرة ثري مايل (Three Mile Island) التي جددت المخاوف من إنتاج الطاقة النووية.

وفي أوج الحرب الباردة بدأت إدارة الرئيس ريجان مساعيها لجمع أكبر قدر من الأسلحة النووية. ومع نهاية الثمانينيات أدت سياسة الانفتاح إلى ثورة سلمية - إلى حد بعيد - في أرجاء الكتلة السوفيتية السابقة، كما أدت إلى انتهاء الحرب الباردة. وتعززت سياسة الحد من الأسلحة النووية في الاتحاد السوفيتي السابق عندما قررت أوكرانيا

وكازاخستان وروسيا البيضاء الاستغناء عن ترساناتها النووية. غير أن دولاً أخرى لم تحذُ حذوَ هذه الدول، ومع نهاية العقد بدأت الهند وباكستان تجاربها النووية.

ويمكن أن يؤثر الإشعاع في الإنسان بطرائق مختلفة. ومن الأمور التي تقرر مدى التبعات الصحية السلبية عند الإنسان مقدار الإشعاع ونوعه وفترته وطريقة التعرض (داخلية أو خارجية). ولا تتم في العادة ملاحظة الآثار السلبية إلا بعد مرور أعوام عدة. وعلى حين أن الجرعات المخففة من الإشعاع قد تؤدي إلى ظهور أعراض معتدلة مثل احمرار الجلد بعد التعرض للإشعاع بفترة وجيزة، غير أن ذلك قد يزيد مخاطر الإصابة بالسرطان بعد أعوام عدة. أما التعرض لجرعات قوية جداً من الإشعاع بعد تفجير قنبلة نووية أو بعد وقوع حادثة في منشأة نووية فقد يؤدي إلى الوفاة خلال أيام أو شهور معدودة.

ومن الهجمات الإرهابية النووية المحتملة استخدام مصادر إشعاعية محدودة ذات قدرات إشعاعية محدودة أو استخدام تفجيرات نووية على نطاق واسع يمكن أن تغطي مناطق واسعة. وكما هي الحال بالنسبة إلى الإشعاعات الصادرة عن مصادر أخرى، فإن الآثار الناجمة عن الإشعاعات من هجمات إرهابية نووية محتملة ستتفاوت بحسب نوع الإشعاعات أولاً والمسافة بين مصدر الإشعاع وأولئك الذين يقطنون في الجوار. ثانياً وفي حال تفجير قنبلة نووية فإن الموجات الناجمة عن صدمة التفجير والحطام المتطاير في أعقاب التفجير قد تؤدي إلى وفيات جماعية. وقد يفقد من ينظر بشكل مباشر إلى التفجير بصره إلى حين، بل قد يصاب بعض الناس بأضرار حادة أو دائمة في الشبكية. بل من المرجح أيضاً أن يصاب الكثيرون بأضرار صحية طويلة أو قصيرة في أمدها بسبب الإشعاعات.

وهناك ثلاث طرائق من شأنها حماية الإنسان من التعرض للإشعاعات أو التقليل من مخاطرها:

- تقصير الفترة التي يمضيها الإنسان بالقرب من مصدر الإشعاع.
- زيادة المسافة بين الإنسان وبين مصدر الإشعاع.
- زيادة الوقاية من مصدر الإشعاع.

ومن شأن أي مادة قادرة على إقامة عازل بين الإنسان ومصدر الإشعاع أن تشكل حاجزاً واقياً. وهناك إشعاعات قادرة على اختراق الحواجز كافة باستثناء الجدران ذات الطبيعة الخاصة (الجدران الأسمنتية التي يبلغ سمكها أقداماً عدة)، بل يمكن الإنسان أن يقي نفسه من إشعاعات معينة بأن يقف خلف نافذة زجاجية فحسب؛ ويشكل الجلد ذاته واقياً من أنواع معينة من الإشعاعات. وقد يقي الإنسان نفسه من إشعاعات معينة بأن يبقى داخل المبنى أو داخل سيارته. ومن الإجراءات الوقائية إقامة حاجز واقٍ من شأنه أن يقلل التعرض للإشعاعات النووية أو يحد منها.

ويساور القلق كثيرين من أن الإجراءات التي اتخذتها دول العالم لصد التهديدات الإرهابية النووية منذ أحداث 11 أيلول/ سبتمبر 2001 لم تكن كافية، بل هي منقوصة إلى حد بعيد. وبرغم أن معظم القادة الأمنيين العسكريين والقوميين يقرون بالتهديدات التي تمثلها الأسلحة النووية الموجودة بيد الجماعات الإرهابية أو الجماعات الراديكالية فإن الخطوات الفعلية التي تم اتخاذها لصد الجماعات الإرهابية والحؤول دون حصولها على مواد نووية يمكن تصنيع أسلحة نووية أو قنابل نووية ما زالت محدودة. وعلى حين أن خطر صنع قنبلة نووية أو نقلها أو نشرها قد تكون أموراً أكثر وضوحاً الآن من أي وقت مضى منذ صنع القنبلة النووية أول مرة في أعقاب الحرب العالمية الثانية، فإن ما تم فعله لرصد الأسلحة النووية أو كشفها لا يمثل إلا القليل القليل مما يجب فعله. ويرى بعض الخبراء أن هناك حاجة إلى بذل جهود حثيثة وتقديم التمويل اللازم لتطوير نظم لرصد الأسلحة النووية.

وقد تم اقتراح الخطوات السبع المدرجة لاحقاً في تقرير أعده خبراء في جامعة هارفارد ومؤسسة مبادرة التهديدات النووية في العاصمة الأمريكية واشنطن عام 2002، عنوانه: "تأمين الأسلحة والمواد النووية: سبع خطوات لإجراءات فورية". ويحذر التقرير المذكور من مغبة عدم تقيد الولايات المتحدة الأمريكية وروسيا بالخطوات الضرورية للحؤول دون حصول الإرهابيين على الأسلحة النووية أو موادها الأساسية. ويوصي التقرير بما يأتي:

1. إقامة تحالف دولي لتأمين أسلحة الدمار الشامل: يتعين على الرئيسين الأمريكي جورج بوش والروسي فلاديمير بوتين أن يسعيا لإقامة تحالف دولي لتأمين مخزون أسلحة الدمار الشامل في العالم ومكوناتها الأساسية. ويتعين على الدول المنضمة إلى التحالف أن تتعهد بأن تضمن مخزونها من الأسلحة النووية، وأن تكون مسؤولة عن فرض معايير صارمة بشأنها، بشكل يحميها من سرقتها أو تهريبها بصورة غير مباشرة، وأن تتبادل دول التحالف المعلومات الاستخباراتية المهمة بشأن التهديدات الإرهابية، وأن تستعد لمواجهة التهديدات والهجمات الإرهابية بأسلحة الدمار الشامل.

2. تعيين مسؤول أمريكي وآخر روسي لقيادة جهود البلدين لحماية الأسلحة والمواد النووية: لا نجد اليوم مسؤولاً أمريكياً كبيراً في الحكومة الأمريكية يتفرغ لتولي مسؤولية قيادة الجهود المبذولة والخاصة بحماية الأسلحة والمواد النووية وتنسيقها. ولابد أن يعين الرئيسان بوش وبوتين مسؤولين كبيرين متفرغين لهذه المهمة ويرفعان تقاريرهما إليهما.

3. تسريع التحديثات الأمنية الخاصة بالرؤوس والمواد النووية في روسيا وتعزيزها: يتعين على الولايات المتحدة الأمريكية وروسيا أن تضعا نُصب أعينهما هدفاً يتمثل في إجراء "تحديثات مسرعة" لأمن الرؤوس الحربية والمواد النووية خلال العامين المقبلين، وتوسيع العملية لتشمل تحديثات شاملة خلال الأعوام الأربعة المقبلة، على أن تتخذ الدولتان سلسلة خطوات لبناء شراكة حثيثة لتحقيق هذه الغاية.

4. إطلاق جهود دولية للحد من مخزون المواد النووية التي يمكن استخدامها كأسلحة في العالم: لابد من "تدشين" برنامج جديد يعطي حوافز للمنشآت النووية المنتشرة في العالم بالتخلي عن المواد النووية التي يمكن صناعة أسلحة منها، وأن تقوم بتحديثات أمنية ومساءلة سريعة في أي منشأة فيها مواد نووية غير مؤمنة.

5. وضع معايير أمنية نووية عالمية صارمة: يتعين على الولايات المتحدة الأمريكية وروسيا وغيرهما من الدول التي تجري أنشطةً نوويةً مشابهةً أن تتعهد تعهداً سياسياً ملزماً بتطبيق معايير صارمة متفق عليها بشأن أمن المواد والمنشآت النووية والمسؤولية عنها، وأن تشجع الأطراف الآخرين المعنيين على فعل الشيء نفسه.

6. تسريع عملية التخلص من اليورانيوم المخصب تخصيباً عالياً: يجب أن تبدأ إدارة الرئيس بوش التفاوض مع روسيا بشأن تبني منهجية حثيثة ومُسرَّعة للتخلص من فائض روسيا من اليورانيوم المستخدم في صنع القنابل النووية؛ بحيث تُخفف عشرات الأطنان من اليورانيوم المخصب بخلطها بمواد أخرى، وتخزن لبيعها لأغراض أخرى لاحقاً. ويتعين على الكونجرس الأمريكي أن يخصص نحو 50 مليون دولار لتمويل هذه العملية في سنتها الأولى.

7. استحداث موارد جديدة للأمن النووي: لابد من استحداث موارد جديدة لتمويل الإنفاق الحكومي الراهن لضمان الأسلحة والمواد النووية في الاتحاد السوفيتي السابق، مثل العمل بمبدأ "الديون مقابل منع انتشار الأسلحة النووية"، أو تخصيص بعض إيرادات الوقود المستورد.

وقد عقب جون بي هولدرين (John P. Holdren)، وهو أستاذ كرسي تيريسا (Theresa)، وجون هاينز (John Heinz)، وهو أستاذ في السياسة البيئية في كلية كينيدي لعلم السياسة بجامعة هارفارد، وهو أحد معدّي التقرير المذكور، قبيل قمة بوش ـ بوتين التي عقدت في أيار/ مايو 2002 بالقول:

> في القمة المقبلة يتعين على الرئيسين بوش وبوتين أن يلحقا اتفاقيتهما لتخفيض الأسلحة النووية باتفاقية ثانية تنص على تسريع جهود الدولتين فيما يتعلق بحماية مخزون الأسلحة والمواد النووية والعمل بمبدأ المساءلة بشأنها، كما يتعيَّن عليهما أيضاً دعوة الدول الأخرى للانضمام إليها في تحالف دولي يهدف إلى تحقيق الغاية ذاتها.

أما ماثيو بَن (Mathew Bunn)، وهو باحث أول في "مشروع إدارة الذرة" في كلية كينيدي التي أعدت التقرير بدعم من "مبادرة التهديدات النووية"، وهو أحد معدّي التقرير المذكور فقال:

> إننا نملك التقنية اللازمة لحماية الأسلحة النووية في أرجاء العالم والعمل على تقنين استخداماتها، وأن نحفظها بعيداً عن أيدي المنظمات أو الجهات الإرهابية. إننا بحاجة إلى قيادة سياسية وموارد ذات صفة مستديمة لتنفيذ هذه المهمة.

ويؤكد التقرير حقيقة أن الأسلحة والمواد النووية موجودة في مئات المنشآت العسكرية والمدنية الواقعة في عشرات الدول حول العالم، وتتفاوت الظروف الأمنية من دولة إلى

أخرى؛ حيث تتصف بأنها فائقة في بعض الدول ومرعبة في دول أخرى، هذا في غياب أي معايير أمنية دولية ملزمة في هذا الصدد. بل تُقصَر الإجراءات الأمنية في بعض المنشآت النووية على وجود حارس خفارة ليلية ووجود سور حماية. ونتيجة لذلك تستمر السرقات الموثقة للمواد النووية التي يمكن استخدمها في الأسلحة النووية، ومنها على سبيل المثال سرقة نحو كيلوجرام من اليورانيوم العالي التخصيب من جمهورية جورجيا الروسية في نيسان/ إبريل 2000. وعلى حين تعمل الولايات المتحدة الأمريكية وروسيا معاً لحماية التركة الروسية القاتلة التي آلت إليها بعد الحرب الباردة، فإن "التحديثات السريعة" - مثل سد النوافذ بالقرميد أو وضع قوالب حجرية لحماية المواد - لم تشمل أكثر من 40٪ من المواد النووية المحتملة في روسيا؛ كما أن ما تم تدميره من اليورانيوم المخصب تخصيباً عالياً لا يصل إلى سبع ما تملكه روسيا فعلياً. ويدعو التقرير إلى اتخاذ إجراءات سريعة وحثيثة، مبيناً الإجراءات التي لا بد منها لتحقيق الغاية المرجوة.

وفي هذا السياق يحذر عضو مجلس الشيوخ السابق سام نَن (Sam Nunn) قائلاً:

> يسعى الإرهابيون سعياً حثيثاً للحصول على أسلحة الدمار الشامل، وعلينا أن نبذل جهوداً حثيثةً بالمقابل لإيقافهم. وإيماناً منا بأن التوصيات الواردة في هذا التقرير ستساعدنا في تسريع خطانا لتحقيق السبق عليهم، فإن "مبادرة التهديدات النووية" توصي بهذا التقرير إلى صُنَّاع السياسة في الولايات المتحدة الأمريكية وروسيا. وعلينا أن نفعل شيئاً الآن. ويبدو أن الرئيسين بوش وبوتين يفهمان ذلك، غير أن التحدي الماثل أمامهما في القمة المقبلة هو جعل الفريقين المرافقين لهما يسيران في هذا الاتجاه أيضاً.

الاستعداد للكوارث

في "الشتاء المظلم" - وهي مناورة محاكاة حول هجمة إرهابية بفيروس الجدري - نرى أن الجدري يتحول إلى وباء يصيب العالم بأسره خلال أسابيع معدودة. وتبين هذه المناورة الآثار المدمرة لهجمة إرهابية بالأسلحة البيولوجية من خلال أسلحة دمار شامل بيولوجية معدية وقاتلة. وقد ثبت أن ردة الفعل المحلية وجهود الاحتواء قد أخفقت على حين ارتبكت جهود مواجهة الآثار الصحية. وبرغم الجهود القومية، وربما الدولية، فقد انتشر الوباء.

إن الاستعداد لمواجهة الحالات الطارئة من المتطلبات الضرورية للأمن القومي. ومن أجل حماية المجتمعات على المستويين المحلي والدولي لا بد من بذل الجهود لا من أجل الحؤول دون اندلاع الأزمات فحسب بل من أجل مواجهتها بطريقةٍ فاعلةٍ عند اندلاعها.

إن مواجهة الأزمات المتضمنة أسلحة الدَّمار الشامل تتطلب على الفور مشاركة السلطات المحلية والموارد المتاحة داخل المنطقة المعنية، وقد يتطلب ذلك - على وجه السرعة - تنسيقاً ودعماً وطنياً وربما دولياً.

ومن أهم التبعات التي لابد من مواجهتها في الهجمات الإرهابية البيولوجية، بل في معظم الهجمات بأسلحة الدَّمار الشامل، قضية رعاية الإصابات الجماعية؛ حيث إن معظم نظم الرعاية الصحية القائمة تبدو إلى حدٍّ مفجع غير كافية في احتواء الهجمات الإرهابية الواسعة التي يترتب عليها إصابات جماعية. ومن الضروري في مثل هذه الحالات قيام رقابة مشتركة وتعريف للضحايا واحتواء واتصالات؛ من أجل الحدِّ من آثار مثل هذه الهجمة. أما أهم جوانب مثل هذه النظم فتتمثل في:

- الاتصال من دون أي عائق بين الجهات المكلفة بتنفيذ الإجراءات الأولية والسلطات الإقليمية والوطنية بل الدولية عند الضرورة.

- إجراء اتصالات متكاملة بين وحدات الرصد والمختبرات والجهات المكلفة بتنفيذ الإجراءات الأولية ومرافق الرعاية الصحية.

- توفير معدات رصد متطورة، ومعدات رصد مخبرية متطورة، وقدرات للتعرف إلى الإصابات وتشخصيها.

- المراقبة الطبية المحلية والوطنية المنسقة لتحليل الأعراض والأمراض "عند الإصابة بها".

- التدريب المتخصص المكثف للجهات المكلفة بتنفيذ الإجراءات الأولية وتوفير الكوادر الأساسية.

- إيجاد معدات لتوفير رعاية طبية وحماية مادية للجهات المكلفة بتنفيذ الإجراءات الأولية والمنشآت التابعة لها.
- توفير العقاقير الدوائية واللقاحات الضرورية لمعالجة الإصابات الجماعية.
- القيام بالاستعدادات وتجهيز منشآت لمعالجة حالات التسمم واستنشاق الغازات السامة في كل المستشفيات والمراكز الصحية.
- زيادة الطاقة السريرية في المستشفيات والمؤسسات الطبية وتوفير الوحدات الطبية البديلة المتنقلة.
- توفير تقنية معلومات متطورة لرصد الأوضاع في مرحلة ما بعد الهجمات، بما في ذلك رصد وضع الأسرة في المستشفيات ووضع الإصابات.

خلاصة

لنا أن نقول: إن الإرهاب قديم قِدَم البشرية ذاتها؛ وقد أضحى لزاماً علينا الآن أن نجتمع على مواجهة هذا الخطر القديم بعزيمة ومنهجية جديدتين. لقد حاربت الأمم الإرهاب، وكان لكل أمة طرائقها ووسائلها، وقد آن الأوان أن تجتمع الأمم على إدانة الإرهاب وأن تعقد العزم على محاربته. ومن المؤسف حقاً أن هذه القضية لن تخلو من الخلافات والصراعات السياسية والإجراءات العسكرية بل الحرب أحياناً. إن الإجراءات التي اتخذتها أمم عدة مؤخراً والعزيمة التي تظهرها هذه الأمم إنما تهدف إلى الحؤول دون انتشار أسلحة الدمار الشامل واستمرارها في إرهاب سكان العالم.

لقد بدأت الدول تنتهج منهجاً مختلفاً في محاربتها للإرهاب. فقد شجعت ألمانيا وإيطاليا معاً - على سبيل المثال - الاتحاد الأوربي على تصعيد الحرب على الإرهاب. وفي خريف عام 2002 اشتركت الولايات المتحدة الأمريكية وألمانيا وجمهورية التشيك ودولة الكويت في مناورات عسكرية محورها مواجهة تبعات وقوع هجمات بغاز الأعصاب VX. وقد تكون هذه المناورات فعالة جداً في التدريب على عمليات عبر الحدود؛ حيث يتم تهريب أسلحة الدمار الشامل بسهولة. بل إن "عملياتية" الاتصالات والنظم والمعدات الطبية ستعزز القدرات الدولية في إدارة الإصابات الجماعية ومواجهة تبعات أسلحة الدمار الشامل.

لقد شهد المجتمع الدولي تاريخاً طويلاً ومعاهدات واتفاقيات متلاحقة لمواجهة انتشار أسلحة الدمار الشامل. لقد حظرت اتفاقية جنيف لعام 1925 الحرب البيولوجية. وفي عام 1975 حظرت اتفاقية الأسلحة البيولوجية إنتاج الأسلحة البيولوجية وحيازتها وتخزينها. ومن المؤسف أن هذه الاتفاقيات تفتقد الآليات التي تضمن تنفيذها. وفي عام 1995 تم تمديد اتفاقية حظر انتشار الأسلحة النووية مدة غير محددة. وفي عام 1996 تم التوقيع على الاتفاقية الشاملة لحظر التجارب على الأسلحة النووية. وفي عام 1997 دخلت اتفاقية الأسلحة الكيميائية حيز التنفيذ مع برنامج للمتابعة والمراقبة. وقد تكون اتفاقية الأسلحة البيولوجية في الوقت الراهن الأقل تنفيذاً، مع أن الأسلحة البيولوجية تشكل تهديداً مساوياً بل التهديد الأخطر على السلام والاستقرار الدوليين.

لقد أظهر المجتمع الدولي التزاماً متزايداً بشأن قضية محاربة الإرهاب البيولوجي وأسلحة الدَّمار الشامل، غير أن هذه الجهود تتطلب التزاماً راسخاً إذا ما أردنا النصر. ولم تعد المشكلة محصورةً في الهند وباكستان، أو أيرلندة وبريطانيا، أو إسرائيل وفلسطين، أو الولايات المتحدة، أو العالم الغربي، أو الشرق الأوسط أو الشرق الأقصى، أو أي منطقة بعينها أو شعب بعينه. وإذا كانت جهودنا لمواجهة الإرهاب تبدو مقسمةً، ومؤقلمةً، ومسيَّسة، وشخصيةً أحياناً، فإنَّ علينا أن نتذكر دوماً أن الإرهاب بلاء يتهدّد العالم بأسره، وأنه تهديد عالمي يتطلَّب تعاوناً دولياً غير مسبوق إذا ما أردنا أن نجد حلاً دولياً للمشكلة حقاً.

القسم الرابع

التقنية الحيوية والصناعة

الفصل السابع

الاستثمار في صناعة التقنية الحيوية

أندرو جرين

ركزت المناقشات في معظمها حتى الآن على قضايا التقنية الحيوية التي أثارت جدلاً عاماً وفي وسائل الإعلام؛ ومنها على سبيل المثال: قضية الجينوم البشري، والمحاصيل المعدَّلة وراثياً، والاستنساخ والإرهاب الحيوي. أما في هذا الفصل فسنصبُّ اهتمامنا تحديداً على الجوانب التجارية لصناعة العقاقير الدوائية البشرية. أو في - تعبير آخر - صناعة منتجات تقنية حيوية تهم المستثمرين والمشترين معاً.

وفي البداية، علينا أن نعرف بعض النقاط الرئيسية تعريفاً واضحاً ومحدداً:

- التقنية الحيوية ليست علماً فحسب، بل هي جزء من عالم الأعمال.
- من المتوقع أن يزداد الطلب على منتجات التقنية الحيوية يوماً بعد آخر.
- لشركات التقنية الحيوية تخصصاتها الدقيقة، ومن المرجح أن تتولى شركات صغيرة إجراء معظم الدراسات الخاصة بالعقاقير.
- دراسات العقاقير عملية مكلفة ومحفوفة بالمخاطر.
- من المرجح أن يمول أصحاب رؤوس الأموال المغامرة شركات التقنية الحيوية.
- في وسع أولئك الذين يستثمرون أموالهم بحذرٍ وروية أن يحققوا عائدات ضخمة مثلما فعلوا في الماضي.

يُعدُّ مصطلح التقنية الحيوية مصطلحاً واسعاً وفضفاضاً، ويعتمد تعريفه تعريفاً دقيقاً على من يعرفه أو يفسره. وسنستخدم - في سياق هذا الفصل - مصطلح التقنية الحيوية للإشارة إلى تطوير عقاقير دوائية بشرية جديدة في عالم الأعمال، فهذا الفصل - تحديداً - يسلط الضوء على اختراع العقاقير الجديدة المحمية بقوانين الملكية الفكرية وتسويقها تجارياً.

ويمكن تصنيف العقاقير الدوائية في فئتين: الجزيئات الصغيرة والجزيئات الكبيرة. أما العقاقير التقليدية فهي من فئة الجزيئات الكيميائية الصغيرة، وهي مصنعة من الكربون

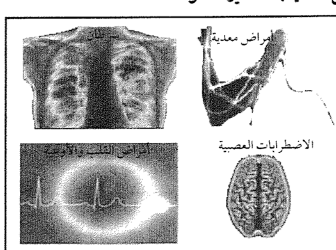
وعناصر أخرى، وهي فعالة لأنها صُنعيَّة تركيبية ويعتبرها جسم الإنسان أجساماً غريبةً. ويستغرق الجسم وقتاً أطول لتحليل هذه المواد الكيميائية، فيتيح لها ذلك أن تدخل جسم الإنسان وتؤدي مهمتها بسرعة. ومن العقاقير الدوائية المعروفة المصنفة ضمن فئة الجزيئات الصغيرة الأسبرين والفاليوم (Valium) وبروزاك (Prozac).

وبالمقابل نجد أن عقاقير الجزيئات الكبيرة هي من منتجات الطبيعة. وهي كبيرة لأنها بروتينية أكثر من أي شيء آخر (البروتينات جزيئات كبيرة كربونية في أساسها)، وهي تتألف من آلاف الذرات ويصنعها جسم الإنسان. ومن أمثلة "عقاقير" التقنية الحيوية الكبيرة: الأنسولين والعامل (VIII) والدنا (DNA) نفسها. ويحتاج الأطباء في العادة إلى حقنها في جسم الإنسان لصعوبة دخولها بطريقة أخرى، ويتعرف جسم الإنسان إلى أجزاء منها في التوِّ واللحظة ويبدأ في تحليلها. وسواء أكانت العقاقير من فئة الجزيئات الكبيرة أم الصغيرة فإنها قد حسنت حياة الإنسان ورفاهيته إلى حد بعيد.

وبرغم ما تم تحقيقه من إنجازات طبية باهرة في القرن المنصرم، فإننا لم نتوصل إلى العقاقير اللازمة لمعالجة الكثير من الأمراض الرئيسية (انظر الشكل 7-1). ويعالج عدد من العقاقير أعراض الأمراض لا الأمراض نفسها. وتشير إحصاءات الجمعية الأمريكية للسرطان إلى أن 1500 شخص يموتون يومياً من السرطان في الولايات المتحدة الأمريكية التي تُعد واحدة من أغنى دول العالم، ويتلقى شعبها أفضل أنواع العلاج فيه، بينما يموت شخص واحد كل 33 ثانية بسبب مرض القلب.

ووفقاً لتقرير مؤسسة الدراسات والصناعات الدوائية الأمريكية لعام 2000 فإن سوق العقاقير الدوائية ضخمة، وقد بلغت قيمة سوق العقاقير الدوائية الخاصة بـ 12 مرضاً رئيسياً – مع أخذ التكلفة الإنتاجية بالحسبان – 645 مليار دولار أمريكي عام 2000. وقد شهد العالم مؤخراً عودة أمراض؛ مثل: شلل الأطفال والسل. ومادام جسم الإنسان يضم 30000 آلية مرضية فإن العلماء يكتشفون بشكل متواصل أهدافاً جينيةً يمكنهم من خلالها أن يخترعوا علاجات بعينها. وبرغم ذلك، فإن لدينا من العلاجات والتقنيات – في الوقت الراهن – ما يفوق الموجود منها في أي وقت مضى، ولكن علينا أن نبذل المزيد من الجهد وأن نقتنص كل الفرص السانحة إذا ما أردنا أن ننهض بالعناية الصحية.

الشكل (7-1)
نمو متواصل: احتياجات غير مستوفاة

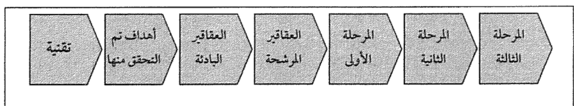


- أهداف جينية جديدة.
- 30 ألف آلية مرضية في جسم الإنسان.
- المبيعات الطبية للشخص الواحد تزيد بسرعة تفوق الناتج المحلي الإجمالي للشخص الواحد بنسبة 20٪.
- طلبات متنامية لا محالة.
- الحكومات تفرض سيطرتها، والأسواق تخلق فرصاً.

المصدر: Merlin Biosciences Analysis.

ووفقاً للتحليلات المتوافرة فإن سوق الأدوية البشرية ستنمو نمواً متسارعاً متوافقاً مع نمو الثروة البشرية. ويعني ذلك - من الناحية العملية - أن الطلب على منتجات الرعاية الصحية سينمو بشكل غير محدود في المستقبل. وفي الماضي كانت ثروات الحضارات الإنسانية تزداد بشكل متواصل لا يقل بأي حال من الأحوال عن إنجازاتها. وقد بلغت الإنسانية الآن القمة فيما يتعلق بالثروة والصحة معاً، حتى إن بعض أفقر التجمعات السكانية في العالم اليوم تعيش أطول - بل بشكل أفضل - من بعض الملوك الذين عاشوا في القرون الفائتة. وسيتواصل تقدم البشرية ولن تحده حدود في المدى البعيد. ولم يكن أسلافنا ممن عاشوا في القرون المنصرمة ليتخيلوا ما وصلنا إليه من قوة وإنتاجية وحركية.

الشكل (7-2)
الأبحاث والتطوير في مجال العقاقير الدوائية



- الأموال المنفقة كافة حتى المرحلة الثالثة.
- 15 عاماً.
- 90٪ معدل الفشل.
- 800 مليون دولار أمريكي لكل عملية ناجحة (تشمل المحاولات الفاشلة).

المصدر: Merlin Biosciences Analysis.

وتشير الحقائق المثبتة إلى أنه كلما زادت ثروة أمة من الأمم زاد طلبها على الدواء. وفي حقيقة الأمر نجد أن الطلب على الدواء للفرد الواحد يزيد بسرعة تفوق زيادة صحة الفرد نفسه من الثروة العامة. ففي الدول الفقيرة قد ينفق الفرد دولارات معدودة سنوياً على الرعاية الصحية، وهو ما يمثل أقل من 1٪ من دخله. أما في الدول الغنية فقد ينفق الفرد آلاف الدولارات على الرعاية الصحية وهو ما يمثل من 8٪ إلى 10٪ من دخله. وستزداد مبيعات العقاقير الدوائية تلبيةً لهذا الطلب المتزايد بلا حدود، وسينفق الناس جزءاً كبيراً من دخلهم المتاح على صحتهم. وستفوق المبيعات الطبية للفرد الواحد النمو في الدخل للفرد الواحد على المدى البعيد. ولكن علينا ألا ننسى التفاوتات الحالية والمستقبلية من دولة إلى أخرى، والتي مردها إلى قيود تسعير الأدوية أولاً، والمنافسة التي تتبناها الحكومات علاوةً على الضرائب التي تفرضها بعض الحكومات على الأدوية ثانياً. وقد تظهر هذه القيود الطلب على الدواء بشكل أكبر أو أقل مما هو عليه الأمر في الواقع، ولكن لا يمكنها أن تغير الأسباب الفعلية الكامنة وراء الطلب غير المحدود على الدواء.

وفي أوربا، تسيطر الحكومة الوطنية في كل دولة على أسعار الدواء وإمداداته. وعلاوةً على ذلك تُحصل الضرائب لشراء العقاقير الدوائية من دافعي الضرائب ومن يعولونهم. وفي فترة الركود الاقتصادي الراهنة يسعى معظم الحكومات للحد من الميزانيات المخصصة للرعاية الصحية. غير أن الدراسات تشير إلى أن هذا التحرك سيزيد أيضاً الطلب على الدواء؛ حيث إن الناس سيتحايلون على النظام الذي تفرضه الدولة للحصول على الرعاية الصحية المرغوب فيها. ومن خلال التحايل على النظم التي تطبقها الدولة فإن الناس سينفقون أكثر فأكثر بل سيرون جدوى إنفاق أموالهم. ومادامت الحكومات الوطنية لا توسع نظمها البيروقراطية لتشمل الرعاية الصحية فإن الطلب على العقاقير الدوائية سيزداد حتماً.

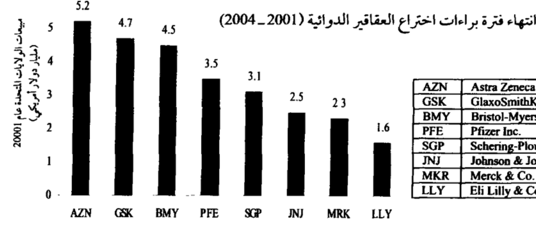
وكما هي الحال في الصناعات الأخرى، فإن شركات الصناعات الدوائية تتبنى تخصصات دقيقة يوماً بعد آخر. ويطالب المستثمرون الشركات التي يستثمرون أموالهم فيها أن تركز على الجوانب التي تحقق أضخم عائدات ممكنة. وقد أضحت البنية التحتية التسويقية في الشركات الدوائية العملاقة أهم ما فيها، بل هي أكثر ما تحرص الشركات عليه؛ لأنها تتألف من فرق من آلاف الأشخاص المتخصصين في المبيعات ممن يحققون

للشركة أرباحاً طائلةً بفضل صلتهم بالأطباء الذين يكتبون الوصـفات الدوائيـة. وتتمتـع الشركات العملاقة بقوة تسويقية فائقة تمكنها من بيع المنتجـات ذات الفئـة الثالثـة بـشكل أفضل من بيع الشركات الصغيرة منتجات الفئة الأولى.

وفي الوقت الحاضر أخذت شركات الصناعات الدوائية تنأى بنفسها شيئاً فـشيئاً عـن تصنيع العقاقير الدوائية والأبحاث والتطوير في المجال نفـسه. فعـلى سـبيل المثـال، تعمـد شركةٌ عملاقةٌ ما إلى أن تشتري اختراعاً ما توصلت إليه شركة ثانية، ثم تطلب مـن شركـة ثالثة أن تصنع العقار مقابل مبلغ متفق عليه، ثم تتولى هي بنفسها العملية التسويقية. وهي بذلك تعمل وفقاً للطريقة نفسها التي اعتمدتها الشركات المصنعة للسيارات حيـث تقـوم بشراء الأجزاء والنظم ثم تجمعها وتبيعها في شكل منـتج نهـائي. وتحتـاج هـذه الـشركات التسويقية العملاقة إلى منتجات لبيعها. ومازال بعض هذه المنتجات الدوائية يُصنع داخـل الشركات نفسها، غير أن هذه الشركات العملاقة بدأت تفقد بـراءات الاخـتراع الخاصـة ببعض هذه العقاقير الدوائية (انظر الشكل 7-3)، فحدا هذا بهـا إلى البحـث عـن مـصادر إضافية لاختراعات دوائية، ولعل الجهة المزودة الرئيسية في هذا السياق هي صناعة التقنيـة الحيوية.

الشكل (7-3)

صناعات الأدوية غير المحمية بالبراءات



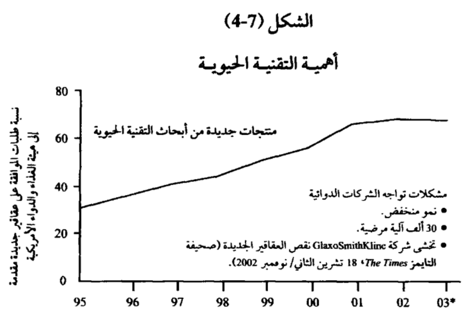
AZN	Astra Zeneca PLC
GSK	GlaxoSmithKlıne PLC
BMY	Bristol-Myers Squibb
PFE	Pfizer Inc.
SGP	Schering-Plough
JNJ	Johnson & Johnson
MKR	Merck & Co.
LLY	Eli Lilly & Co.

المصدر: S. G. Cowen.

من المعروف أن عملية اكتشاف العقاقير الدوائية طويلة، وليس هذا فحسب بل إنها مكلفةٌ ومحفوفةٌ بالمخاطر. ويمكن أن تنفق شركة دوائية ما 500 مليون دولار أمريكي طوال عقد أو أكثر لتطوير عقار ما في المختبر لتوصله في نهاية الأمر إلى المرضى. وعموماً، فإن خمسة مركبات كيميائية فحسب من بين كل خمسة آلاف مركب من التي تدخل مرحلة الاختبارات ما قبل السريرية تصل إلى مرحلة الاختبارات على الإنسان، وواحدٌ فقط من بينها تتم الموافقة على بيعه وتسويقه. لقد أضحت الشركات الدوائية الكبرى - في إطار مساعيها إلى تحقيق مبيعات ضخمة ونمو في الأرباح - معتمدةً أكثر فأكثر على شركات التقنية الحيوية التي يمكنها أن تطور منتجات دوائية لها. وتمثل العقاقير المطورة في شركات التقنية الحيوية نحو 65٪ من العقاقير التي تتقدم بطلب للحصول على الموافقة اللازمة لتسويقها من هيئة الغذاء والدواء في الولايات المتحدة الأمريكية (انظر الشكل 7-4).

الشكل (7-4)

أهميـة التقنيـة الحيويـة



* المتوقع.

المصدر: Ernst & Young Global Biotechnology Report 2002.

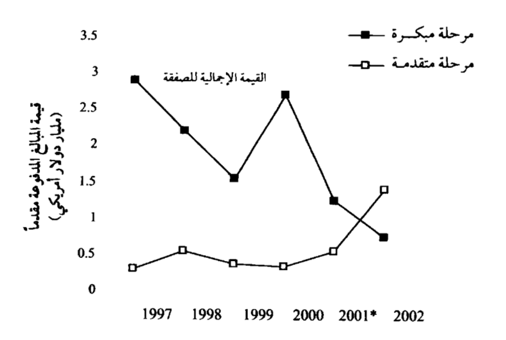
وتسعى الشركات الدوائية العملاقة للحصول على عقاقير دوائية جديدة؛ ومن أفضل الأمثلة على ذلك شركة جونسون آند جونسون (Johnson & Johnson)؛ إذ تُعدُّ أسرع شركة نمواً ضمن الشركات الدوائية العشر الكبرى في العالم، ويعزى نموها إلى شرائها شركات أخرى واستحواذها عليها ، علماً بأن مصدر ثلاثة عقاقير من أهم أربعة تملكها الشركة هو مختبرات شركات التقنية الحيوية، وأن 40٪ فحسب من مبيعات الشركة

المذكورة من منتجات داخلية. كما أن خمسة من أكثر مشروعاتها المستقبلية تقدماً تحققت بفضل امتلاكها شركات أخرى أو تعاونها معها.

وتدرك الشركات الدوائية أن المنتجات التي وصلت إلى مراحل متقدمة في الكثير من شركات التقنية الحيوية لها قيمة حقيقية، وهي أكثر استعداداً من أي وقت مضى لشراء هذه المنتجات. وأول مرة في عام 2002، فاقت المبالغ التي دفعتها مقدماً الشركات الدوائية العملاقة مقابل منتجات وصل تطويرها إلى مرحلة متقدمة كل المبالغ المدفوعة لمنتجات في المراحل الأولى مجتمعةً (انظر الشكل 7-5).

الشكل (7-5)

الأسعار المرتفعة مقابل الأدوية التي وصلت مرحلة متقدمة في تطورها

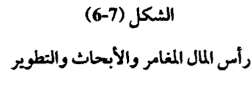


ملاحظة: نقصد بالمرحلة المتقدمة هنا الصفقات المبرمة في المرحلة الثانية والمرحلة الثالثة ومرحلة ما بعد تقديم طلب للحصول على الموافقة اللازمة، وهي تتضمن الصفقات المعلن عنها فحسب. بيانات عام 2002 تبدأ من 15 أيلول/ سبتمبر 2002 وهي محسوبة سنوياً. أما المرحلة المبكرة فلا تشمل صفقات مرحلة الاختبارات ما قبل السريرية، وهي تشمل الصفقات التي تم الإعلان عن قيمتها. بيانات عام 2002 هي لثمانية أشهر محسوبة سنوياً.

* لا تشمل صفقة (Bristol-Myers Squibb) مع (Imclone) التي تبلغ قيمتها 1.2 مليار دولار أمريكي.

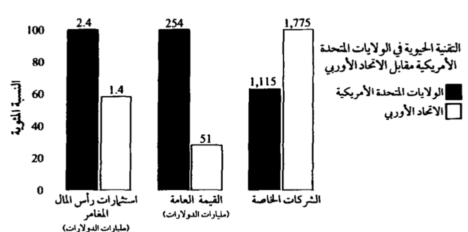
المصدر: *Windhover's Strategic Transactions Database*.

يُعد رأس المال المغامر في أسواق الأسهم الآن مصدراً رئيسياً لتمويل مرحلة الأبحاث والتطوير المحفوفة بالمخاطر في صناعة العقاقير الدوائية، علماً أن التقنية الحيوية تشكل قطاعاً مهماً جداً في عالم الأعمال (انظر الشكل 7-6). ففي عام 2001 جمعت أطراف متشاركة نحو 3.8 مليارات دولار أمريكي في شكل استثمارات مغامرة في الولايات المتحدة الأمريكية وأوربا صُبَّت في نحو ثلاثة آلاف شركة تقنية حيوية خاصة. ويبدو أن أصحاب رأس المال المغامر مهتمون بالاستثمار في هذا القطاع؛ لأن في وسعهم أن يشتروا حقوق الملكية الخاصة التي ستولد لهم مبيعات، وحقوق ملكية. إن الطبيعة الخطيرة وغير المستقرة لاستثماراتهم في هذا القطاع تعوضها العائدات الموعودة التي تبلغ ضعف العائدات المتحققة من الاستثمار في الأسهم العامة. وعندما يقرر أولئك جني الأرباح فإنهم يحققون في العادة من ثلاثة أضعاف إلى خمسة من أموالهم التي استثمروها في البداية. إن سعي الشركات الدوائية العملاقة لامتلاك المنتجات الدوائية التي هي قيد الإنتاج في شركات التقنية الحيوية يبقى قائماً حتى بعد انتهاء طرح أسهم شركات التقنية الحيوية المعنية للتداول. وهذا من الأسباب الأخرى التي تثير اهتمام أصحاب رؤوس الأموال المغامرة في هذا القطاع.



الشكل (7-6)

رأس المال المغامر والأبحاث والتطوير



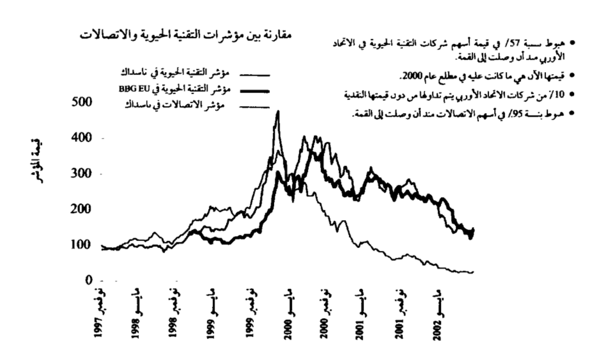
- الملكية الفكرية الخاصة، لا "الملكية المشتركة".
- عائدات استثمارية تصل إلى مابين ثلاثة أضعاف وخمسة من المال المستثمر.
- الضريبة التفضيلية لأرباح رأس المال (المملكة المتحدة).
- انتهاء المتاجرة وانتهاء طرح أسهم الشركة للتداول.

المصدر: E & Y 2002; Merlin Biosciences Analysis.

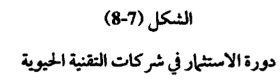
قد تمر عملية جذب الاستثمارات بمرحلة عصيبة، فبعد انفجار ما بات يُعرف بأضخم "فقاعة" في تاريخ أسواق المال في العالم، تراجعت الثقة إلى أدنى مستوياتها (انظر الشكل 7-7). وعزَّت السيولة النقدية وأضحى المستثمرون أشد حرصاً على أموالهم. والأمر المطمئن هنا هو أنه فيما يتعلق باستثمارات التقنية الحيوية فإن هذا المستوى المتدني إنما هو جزء من الدورة التاريخية؛ إذ ظلت أسواق المال في أوج عزها وعنفوان مجدها مفتوحة لفترة من 12 شهراً إلى 15 قبل أن تبدأ تراجعها عن مستوياتها القياسية لفترة من عامين إلى ثلاثة. ومنذ عام 1987 مرت صناعة التقنية الحيوية بثلاث دورات مماثلة (انظر الشكل 7-8). وبرغم أن التراجع الذي تشهده صناعة التقنية الحيوية اليوم هو الأسوأ، فإن لهذه الصناعة أسسها القوية التي يمكنها أن تعوِّل عليها. وقد استثمر خبراء في الاستثمار رؤوس أموالهم عندما بلغت الدورة السابقة أوجها. وهناك اليوم ما يربو على أربعين صندوقاً استثمارياً في مجال التقنية الحيوية، ومن غير المرجح أن يفقد هذا القطاع مستثمريه الذين يعرفونه حق المعرفة.

الشكل (7-7)

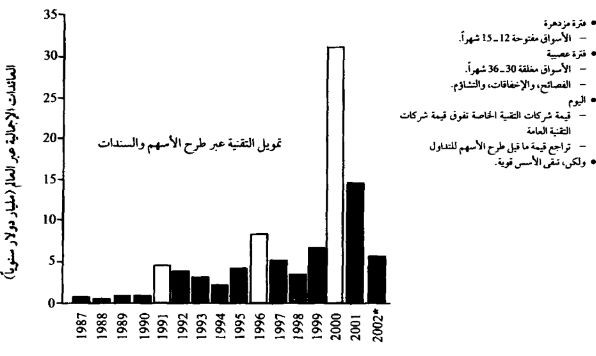
أزمة الثقة



المصدر: Bloomberg.


الشكل (7-8)

دورة الاستثمار في شركات التقنية الحيوية



* باستثناء الشركات المتحالفة.

المصدر: BioCentury· Brobeck Hale & Dorr., November 2002.

ويطالب المستثمرون، أن يعيشوا حياةً أطول وسيبقون يطالبون بذلك. وقد بلغت مبيعات الأدوية عام 1999 نحو 20 مليار دولار أمريكي، غير أنها ستصل إلى نحو 70 مليار دولار أمريكي عام 2009، وقد تصل قيمة قطاع الأدوية إلى نحو تريليون دولار أمريكي في نهاية هذا العقد (انظر الشكل 7-9). واليوم يبلغ عدد شركات التقنية الحيوية 4000 شركة يعمل بها أكثر من 223 ألف عالم وموظف (انظر الشكل 7-10).

الشكل (7-9)

فرص النمو العالمية



ملاحظة: المتوقع.

المصدر: *Ernst & Young 2002;* European Commission – *Life Sciences and Biotechnology: A Strategy for Europe 2002*

الشكل (7-10)

شركات التقنية الحيوية التي تعاني نقصاً في السيولة النقدية

عمليات خفض عدد الموظفين المعلنة	النسبة المئوية	التاريخ
Paradigm Genetics	20	نيسان/ إبريل 2002
Hyseq	39	أيار/ مايو 2002
Large Scale Biology	31	حزيران/ يونيو 2002
Bio Transplant Inc.	23	تموز/ يوليو 2002
Alkermes	23	آب/ أغسطس 2002
Entre Med	25	آب/ أغسطس 2002
Targeted Genetics	25	آب/ أغسطس 2002
Dyax	16	أيلول/ سبتمبر 2002
Genaissance	20	أيلول/ سبتمبر 2002
Immune Response	67	أيلول/ سبتمبر 2002
Xanthon	100	أيلول/ سبتمبر 2002
Ax Cell Biosciences	75	أيلول/ سبتمبر 2002
DeCode	30	أيلول/ سبتمبر 2002
Neo Therapeutics	52	مختلفة

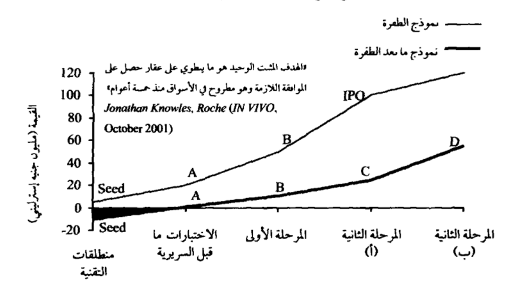
المصدر: *IN VIVO*, October 2002

ولكنَّ للأمر وجهاً آخر؛ إذ يتعين على كل شركة مـن شركـات التقنيـة الحيويـة أن تملـك تقنيات ثورية لها تطبيقات تجارية ثورية أيضاً. لقد انقضت الأيام التي كنا نقول فيها: إن فكرة ذكية في رأس عالم ما يمكن أن تعادل قيمتها مليون دولار أمريكي؛ حيـث إن نمـوذج أعـمال التقنية الحيوية في مرحلة ما بعد الطفـرة يتطلـب منحنـى تطويريـاً حـاداً وتحقيـق العائـدات والأرباح في فترةٍ زمنيةٍ قصيرةٍ. وإذا لم يتحقـق ذلـك، فـإن المـستثمرين الأوائـل سـيرون أن استثماراتهم تتلاشى على يد المستثمرين المعنيين بتقلبات الأسعار ممن يأتون في مرحلة تمويليـة لاحقة، وتتم تحت ضغوط معينة؛ لأن احتمالات الشركة باتت ضعيفة (انظر الشكل 7-11).

الشكل (7-11)

واقع الاستثمار

زمن شركة التقنية الحيوية وقيمتها



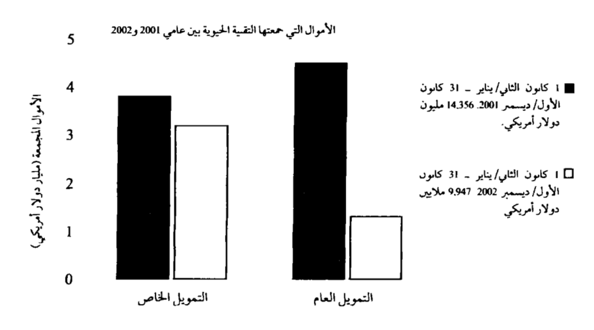
المصدر: Merlin Biosciences Analysis.

لذا، يجب أن يكون للشركات المستثمرة في مجال الأبحاث والتطوير منتجـات تـدعمها وتعطيها قيمة حقيقية. وقد قال جوناثان نوليز من شركة روش العملاقة في مقابلة مع مجلة إن فيفو (*IN VIVO*) في عدد تشرين الأول/ أكتوبر 2001: «الهدف المثبـت الوحيـد (الـذي يستخدمه العلماء في تصميم العقاقير والذي تم تداوله مقابل مبالغ طائلة خلال فترة الطفرة) هو ما ينطوي على عقار حصل على الموافقة اللازمـة وهـو مطـروح في الأسـواق منـذ خمـسة

أعوام». ثلة قليلة من شركات الأبحاث والتطوير ستتاح لها مثل هذه الفرصة المثالية، ولكن عليها أن تفعل الكثير إذا ما أرادت أن تحصل على تمويل لأعمالها، ولاسيما مع تزايد العقبات أكثر فأكثر (انظر الشكلين 7-12 و7-13).

الشكل (7-12)

التمويل الخاص يفوق التمويل العام



المصدر: Bio World.

الشكل (7-13)

مستقبل الأبحاث والتطوير في مجال التقنية الحيوية

- سيزداد الطلب على العقاقير الجديدة بشكل غير محدود.
- الأرباح هي المحرك الأهم لإنتاجية الأبحاث والتطوير.
- تراجع أكبر مصدر لرأس المال المنفق على الأبحاث والتطوير في صناعة العقاقير الدوائية.
- الخبراء من أصحاب الاستثمارات المغامرة سيقودون نمو الأبحاث والتطوير.
- ستحقق الأسهم الخاصة أكبر العائدات على الدوام غير أنها ستبقى مصحوبةً بأعظم المخاطر.

المصدر: Merlin Biosciences Analysis.

وختاماً، حريٌّ بنا أن نذكر بالنقاط التي عرضناها في بداية هذا الفصل. للتقنية الحيوية مستقبل عظيم، ولها تطبيقات مضمونة في عالم الأعمال. وسيزداد طلب البشرية على العقاقير الدوائية الجديدة يوماً بعد آخر. وستبقى الملكية الخاصة وكسب الأرباح، مادامل أمرين قانونيين، والمحركين الرئيسيين لإجراء الأبحاث على العقاقير الدوائية والإنتاجية. إن أكبر مصدر للدراسات والأبحاث التطويرية، وهو صناعة العقاقير الدوائية، آخذ في التراجع؛ لذا يتعين أن يقود المستثمرون المغامرون برأس المال والذين يتمتعون بالخبرة اللازمة، نمو الأبحاث والتطوير، وسيكونون مستعدين لذلك تماماً برغم المخاطر الجمّة المحيطة بذلك، وهم يتطلعون إلى الأرباح الطائلة التي ستتحقق لهم في هذا القطاع.

الفصل الثامن

التقنية الحيوية ومستقبل المواد

جون بيرس*

جاء اكتشاف بِنْية الدنا في خمسينيات القرن العشرين وما تبعه من دراسة مفصلة لهذه البنية وأسرار تشفيرها للمكونات الأساسية للكائنات الحية ليعطينا فهماً متطوراً للمبادئ البيولوجية وليوفر لنا أدواتٍ معقدةً أكثر من أي وقت مضى لتحقيق الاستفادة القصوى من المبادئ البيولوجية، وما كان ذلك ليتحقق لولا الاستثمارات الضخمة التي بُذلت في هذا السياق، مادياً ووقتياً وفكرياً. ومنذ نحو ثلاثين عاماً، بدأنا في تطوير قدرتنا على الاستفادة من علم الأحياء الجزيئي في فهم عملية إنتاج البروتينات المفيدة وغيرها على المستوى الجزيئي. ونحن نشهد الآن من حولنا ثورة التقنية الحيوية التي انطلقت مع هذه التجارب المبكرة، تلك الثورة التي أثرت تأثيراً عميقاً في حياتنا بعد أن أعطتنا أدوية وأطعمة ومحاصيل جديدة، وأرشدتنا إلى طرائق جديدة تمكننا من ضمان سلامة الإمدادات الغذائية وتشخيص الأمراض البشرية.

وليس هذا فحسب، بل تنطلق الآن قوة اقتصادية مهمة تتمثل في الاستفادة من التقنية الحيوية في إنتاج المواد الكيميائية والمواد ذات القيمة الصناعية. وقد أضحى إنتاج كميات ضخمة من المواد الكيميائية والمواد الأخرى المهمة بطريقة بيولوجية من مصادر متجددة حقيقة واقعة، بفضل التطورات المتواصلة في فاعلية الإنتاج الزراعي (الذي يوفر المواد الخام الضرورية)، والمعرفة المتعمقة شيئاً فشيئاً في بنية الدنا، والتقنية الحيوية وأدواتها الفائقة. وقد وجدت هذه المواد تطبيقات لها في مجالات الطاقة والنقل وصناعة الملابس والإسكان، وربما لنا أن نقول بإيجاز: إن لها تطبيقات في كل الصناعات الرئيسية المستخدمة للمواد الكيميائية والمواد الأخرى. وعلاوةً على ذلك، فإننا نتعلم سبل الاستفادة من

---

* يود المؤلف أن يشكر د. أرماندو بايرن، ود. سكوت كانينغهام، ود. فاسانثا ناجاراجان على إسهاماتهم في إعداد هذا الفصل، كما يود أن يشكر ماريو شين لإعداد الصور التوضيحية التي استخدمها المؤلف في أثناء محاضرته في المؤتمر.

منهجيات التقنية الحيوية في صناعة بنى دقيقة ذات دقة فائقة لاستخدامها في مجالات عدة، بدءاً بالطب، مروراً بالإلكترونيات، وانتهاءً بالطبقات الواقية الدقيقة؛ لذا، فإنه من المتوقع أن تكون للتقنية الحيوية إسهامات مهمة في عالم المواد على اختلاف أحجامها ودقتها.

وبرغم الإنجازات الباهرة التي تحققت حتى الآن فإننا قد بدأنا تواً في فهم سبل دمج علم الأحياء ومبادئه في المنهجيات ذات المباحث العلمية المتعددة؛ لتجتمع مثلاً مع: الهندسة، وعلم الكيمياء، وعلم الفيزياء، وعلم المواد، وغيرها، ولا تخفى علينا الإنجازات والابتكارات التي يحفل بها تاريخ مثل هذه العلوم. ونحن بذلك سنطور قدرتنا على الاستفادة من الموارد المتجددة، بل المفاهيم المتجددة، في إنتاج المواد، وسنخطو خطوةً عملاقةً نحو مستقبل نضمن فيه مواد مستدامة.

التقنية الحيوية ودورها الناشئ في إنتاج المواد

لقد أدرك بنو البشر منذ عهد قديم أهمية علم الأحياء أو التقنية الحيوية ومنفعتها في حياتهم اليومية. ويمكننا أن نرى أمثلة مبكرة على التقنية الحيوية ومنافعها حول العالم، وخاصةً – وليس في ذلك أي غرابة – في مجال التخمُّر، ونعني تحديداً مشكلة تلف الأطعمة والأشربة وفسادها. غير أن القدرات الكامنة الحقيقية للتقنية الحيوية لم تُكتشف إلا مؤخراً، وتحديداً مع تقنية تأشيب الدنا. وبفضل التطورات المصاحبة في مجال تقنيات العمليات والكيمياء والهندسة التقليدية وتكاملها مع علم الأحياء، فقد استطعنا أن نطبق التقنية الحيوية في مجالات تجاوزت حدود الأطعمة؛ إذ استفدنا من التقنية الحيوية في: الزراعة، والصناعات الدوائية، والطاقة، وإنتاج المواد.

وتعتمد مجتمعاتنا المعاصرة اعتماداً تاماً على المواد، سواء فيما يتعلق بالتغذية أو الصحة أو الطاقة أو الصناعة. وتستهلك هذه القطاعات الضخمة، التي تصل قيمتها إلى تريليون دولار أمريكي، كميات مهولة من المواد، سواء كانت مأخوذة من الحقول المزروعة أو الحقول النفطية أو المناجم الفحمية وغيرها. وخلال القرن العشرين، تعلمنا كيف ننتج نطاقاً واسعاً ومذهلاً من المواد، من خلال تحويل البترول إلى مواد كيميائية وبوليمرية مختلفة. وينتج العالم الآن مليارات الأطنان من هذه المواد كل عام، وهي تدخل في كل

صناعاتنا تقريباً، في صناعة: الملابس، والأدوات الإلكترونية، وبناء المنازل، والنقل. وهي بذلك تقدم إسهاماً ضخماً في رفاهيتنا، وكيف لا؟ وهي تدفئنا في الشتاء، وتبرِّد أجواءنا في الصيف، وتحفظ أطعمتنا من الفساد.

ولم تكن هذه المنافع لتتحقق من دون تكلفة أو تبعة؛ بل إن التقنية الحيوية قد برزت في الوقت الذي تُثار فيه مخاوف بشأن تأثير البشر في البيئة العالمية. وتمارس المجتمعات البشرية ضغوطاً متزايدةً على الحكومات والصناعات للبحث عن عمليات بديلة ونظيفة لتلبية الاحتياجات المتنامية للطعام والمأوى والصحة. وفي الوقت نفسه، فإن الطبيعة المحدودة وغير المتجددة لموردنا الأكثر استخداماً، ونقصدُ هنا الوقود الأحفوري، قد أدت إلى إطلاق دعوات لتطوير موارد جديدة للطاقة وإنتاج المواد. وقد أطلق هذا كله في نهاية المطاف مناقشة عالمية حول الاستدامة الصناعية ودور التقنية الحيوية في هذا الصدد.

الاستدامة البيئية

يُعدُّ الكربون من العناصر الأساسية في كل الخلايا الحية، وهو - بالمقارنة مع العناصر الأخرى - نادر في قشرة الأرض. والكربون الذي يُشار إليه في العادة على أنه مُكوِّن الحياة، موجود في كل الجزيئيات الخلوية. وعبر مسيرة النشوء، أضحت الكائنات الحية بارعةً في تحليل هذه المركبات العضوية وتصنيعها. أما على المستوى العالمي، فإن التوازن بين عمليتي التصنيع والتحليل يتم في الدورة الكربونية؛ فالطاقة الضوئية الشمسية تستخدمها النباتات والطحالب وجراثيم معينة لتفعيل عملية تصنيع المكونات الخلوية من ثاني أكسيد الكربون أولاً. أما ثانياً فإن بعض الكائنات الدقيقة أو المجهرية مسؤولة إلى حد بعيد عن تحرير الكربون المحجوز في هذه الجزيئيات وإطلاقه إلى الغلاف الجوي في شكل ثاني أكسيد الكربون. وضمن هذه الدورة الكربونية أعطت الطبيعةُ البشريةَ الكثيرَ من الأدوات اللازمة لبناء المجتمعات، ونقصد بذلك الأدوات التي تأخذ شكل المواد الخام الغنية بالكربون.

ومن أمثلة هذه المواد أشكال الوقود والأغذية والألياف، بالإضافة إلى نسبة عالية من المواد الكيميائية والدوائية والسلع غير المُعَمِّرة. وقبل استخدام أشكال الوقود الأحفوري - مثل البترول والفحم والغاز - اعتمدت المجتمعات البشرية على المواد الخام الغنية

بالكربون، والمستمدة من مصادر متجددة سواء من المزروعات أو الأحراج. وفي القرنين التاسع عشر والعشرين وجدت البشرية طريقها إلى المعين تحت ـ الأرضي الطبيعي من الموارد الأحفورية، فأوجب ذلك تحولاً تدريجياً من المواد الخام البيولوجية إلى الموارد الوقودية الأحفورية. واليوم تهيمن المنتجات المستمدة من البترول - لا من الموارد البيولوجية المتجددة - على نسبة عالية من أسواق الطاقة والمواد الكيميائية العضوية. ومن المؤكد أن تطوير الموارد الأحفورية واستخدامها قد حققا للبشرية في أرجاء المعمورة تقدماً عظيماً في مستوى المعيشة الإجمالي، غير أنهما خلقا تبعات غير مرغوب فيها؛ مثل: التلوث البيئي، وظاهرة الاحتباس الحراري.

وفي الطبيعة، تنطلق الدورة الكربونية في عملها من افتراض أن كل المركبات العضوية المصنعة حيوياً قابلة للتحلل حيوياً أيضاً. وليس مستغرباً أن تجد هذه المواد الكيميائية غير المعروفة من قبل طريقها إلى البيئة؛ حيث إنها تتراكم في بعض الأحيان، فيثير هذا مخاوف بيئية حقيقية. كما أن مواصلة استخدام الوقود الأحفوري في إنتاج الطاقة قد نجم عنه إطلاق ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي وتراكمه، ذلك الكربون الذي كان قبل استخدامه مخبأً في مستودعات خامدة بعيداً تحت سطح الأرض. ويُعتقد على نطاق واسع أن تراكم ثاني أكسيد الكربون قد يكون سبباً رئيسياً لما يُعرف بظاهرة الدفيئة، التي تسبب ارتفاعاً تدريجياً مهماً في درجات الحرارة على سطح الأرض.

وقد دفعت هذه المخاوف البيئية الحكومات، تحت ضغوط مُجتمعية، إلى سن قوانين تضع قيوداً محليةً جديدةً تحد ما يمكن قبوله من التأثيرات البيئية. كما أن البُعد العالمي لتأثير البشرية في البيئة قد دفع دول العالم مجتمعةً إلى العمل معاً للتوصل إلى حلول عالمية لهذه المشكلات المعقدة، وهذا ما تُوِّج بانعقاد أول قمة أممية للبحث في قضايا البيئة في ريو دي جانيرو عام 1992. وهذا حثَّ الصناعات عامة على التحقق من عملياتها؛ بِنِيَّةِ تقليل الآثار البيئية للعمليات الصناعية. وفي سياق هذه المناقشات البيئية الواسعة النطاق برز مُصطلح "الاستدامة".

ومع منتصف ثمانينيات القرن العشرين، أدت الأدلة المتنامية المثبتة لتأثير البشرية في البيئة العالمية واستدامة نوعية البيئة إلى فهم أعمق للحاجة الملحة إلى تطوير إدارة الموارد والمخلفات. وأدت هذه المخاوف البيئية، مقترنةً بالحاجة إلى نمو اقتصادي متواصل وخلق

الثروة، إلى تطور مفهوم برنتلانـد للاسـتدامة (Bruntland Concept) * والـذي يعـرف التنمية المستدامة عـلى أنهـا «الاسـتراتيجيات والخطـوات الراميـة إلى تلبيـة الاحتياجـات والطموحات في الواقع من دون الإضرار بالقدرة على الاستجابة لاحتياجات المستقبل». وفي سياق الحقبة الصناعية نجد أن التنمية المستدامة تسعى لتطبيق "تقنيات نظيفة" للتقليل من استهلاك الموارد والتقليل من المخلفات أو الحدّ منها. وفي هذا الإطار تـستطيع التقنيـة الحيوية أن تكون قوة تعيننا على إنتاج منتجات صناعية نظيفة، وتطوير عمليـات حميـدة لا تضر البيئة في شيء.[1]

التقنية الحيوية المعاصرة: من الاستنساخ إلى مبحث الجينوميات

إن التقنية الحيوية - كما أشرنا سابقاً - تعود في جـذورها إلى مُخمِّـري الجعـة وصـانعي الجبنة الذين استفادوا من البكتيريا والخميرة في إعداد أطعمة ومشروبات جديدة. وأمـا في العصر الحديث، فإن المضادات الحيوية والأحماض الأمينية والأنزيمات كلها مُنتجة بطرائق تخميرية مشابهة مبنية على الميكروبات. وفي هذه الأمثلة نجـد أن التقنيـة الحيويـة مـصطلح فضفاض يصف التقنيات المختلفة الرامية إلى الاستفادة من صفات الكائنات الحية في إنتاج منتجات أو تقديم خدمات معينة؛ ولذا فإن هذا المصطلح لن يُـستخدم لوصـف الأنـشطة التقليدية فحسب؛ مثل: صناعة الألبان ومشتقاتها والأجبان، أو الخبز أو النبيـذ فحـسب، بل سيشمل أنشطةً؛ مثل: التربة المنتقاة، أو استنساخ النباتات بفعـل العمليـة الترقيعيـة أو التطعيمية، واستخدامات المنتجات الميكروبية في العملية التخميرية. وما يفـرق بـين هـذه الأمثلة من التقنية الحيوية "التقليدية"، وما نصفه بالتقنية الحيويـة "المعـاصرة" ليـسا مبـدأ استخدام كائنات حية مختلفة، بل التقنيات المعتمدة في هذا السياق. ففي هذا الجيـل الثـاني من التقنية الحيوية، أو ما يمكن أن نشير إليه باسـم التقنيـة الحيويـة الجزيئيـة، تأخـذ تقنيـة تأشيب الدنا مكانة الصدارة من حيـث إنهـا تمكننـا مـن وضـع تـصميم دقيـق لمـا يُـسمى المُحفزات الحيوية (biocatalysts) – سواء كانت كائنات حية كاملة أو أنـزيمات بعينهـا – لاستخدامها في العمليات الصناعية. ولا تقـوم العمليـات الـصناعية عـلى تكامـل: علـم الأحياء الجزيئي، وعلم الوراثة، وعلم الأحياء المجهرية، وعلم أحيـاء الخليـة، والكيميـاء

---

* نسبةً إلى رئيسة وزراء النرويج جرو هارلم برنتلاند التي ترأست اللجنة العالمية للبيئة والتنمية عام 1987. (المترجم)

الحيوية فحسب، بل إنها تدمج الهندسة الكيميائية، وهندسة العمليات، بطريقة تمكن من تحقيق المنفعة القصوى من هذه العمليات.

ويُعد مصطلح تقنية تأشيب الدنا، التي يُشار إليه أحياناً باسم استنساخ الأجنة أو الاستنساخ الجزيئي، مُصطلحاً شاملاً يضم تحته عدداً من التقنيات التي تمكّن انتقال المعلومات الجينية، في شكل دنا، من جيل إلى آخر. وبرغم أن تقنية تأشيب الدنا قد طُوِّرت بفضل الاكتشافات التي تمت في حقول علمية مختلفة، فإن المعرفة الجوهرية التي جعلت هذه التقنية حقيقة واقعة مردها إلى فهمنا للبنية والوظائف في الدنا. وقد بدأ هذا كله عندما اكتشف العالمان واطسون وكريك عام 1953 بنية الدنا. ثم تبع ذلك، في مطلع الستينيات تحديداً، فك الشفرة الجينية، وهو ما ساعدنا على فهم الوحدات المسماة الجينات وفهم علاقتها بالبروتينات التي تشفرها. وبعد ذلك بعشرة أعوام، استغل العالمان كوهين (Cohen) وبوير (Boyer) هذه المعلومات لأداء أول تجربة استنساخية؛ حيث دمجا دنا مأخوذة من كائنين حيين مختلفين وعقدا بينهما فنجم عن ذلك تخليق أول كائن حي ذي دنا متأشبة. وقد أسست استراتيجية كوهين وبوير المبنية على استنساخ الأجنة تقنية تأشيب الدنا وأدت إلى تطورات تقنية عميقة أثرت تأثيراً عظيماً في عدد من المباحث البيولوجية، ولاسيما في التقنية الحيوية.

وخلال الأعوام الثلاثين التي تلت التجارب الأولى في استنساخ الأجنة، طُوِّرت تقنية تأشيب الدنا تطويراً عظيماً وحققت تقدماً تقنياً مشهوداً، فأدى ذلك إلى ظهور تقنيات قوية جديدة ومباحث علمية متخصصة. ومن بين هذه المباحث مبحث الجينوميات الذي يُعنى بالصفات الجينومية للجينومات برمتها؛ ومبحث المعلوماتية الحيوية الذي يتألف من مباحث فرعية عدة كجمع قواعد البيانات البيولوجية الحاسوبية وتخزينها واسترجاعها وتحليلها؛ ومبحث البروتينيات الذي يسعى لتعريف الجميعة البروتينية الخلوية. وقد أدت هذه التقنيات والمباحث مجتمعةً إلى تطورات مذهلة في فهمنا للعالم من حولنا، وربما تُوِّجت جهودها ومساعيها باكتمال مشروع الجينوم البشري مؤخراً.

كما أضحت هذه التطورات التقنية دافعاً قوياً نحو تطبيقات التقنية الحيوية في العمليات الصناعية، ولعل من أهم القضايا ذات الصلة بذلك في هذا السياق تطوير المحفزات الحيوية الملائمة. وفي العادة تتم العمليات الكيميائية في درجات حرارة عالية وتحت ضغط

عال، فيؤدي ذلك إلى الانتفاع من الطاقة الهائلة ولكن في الوقت نفسه يمكن الانتفاع من توليد منتجات جانبية غير مرغوب فيها. أما التقنية الحيوية فتعطينا طرائق تصنيعية جديدة أكثر نظافة بفضل المحفزات الحيوية غير المعروفة من قبل، والتي يمكنها - بفضل أصولها - أن تنفذ وظائفها في درجة الحرارة والضغط المحيطين أو السائدين وبدرجة عالية من الدقة. ويمكن الحصول على هذه المحفزات الحيوية، سواء في شكل كائنات حية أو أجزائها النشيطة أو المحفزة، من بيئات طبيعية مختلفة، أو من خلال تعديل المحفزات الحيوية الحالية بطرائق جينية أو كيميائية ـ فيزيائية. وما دامت الميكروبات - بوصفها محفزات حيوية - تعطينا تنوعاً ضخماً ولم نستنبت أو لم نحدد إلا جزءاً يسيراً منها، فإن شركات تقنية حيوية عدة - ومنها شركة دايفيرسا (Diversa) ومقرها سان دييجو في كاليفورنيا - قد صبت اهتمامها وأعمالها على "التنقيب الحيوي"، أي إنها ترمي إلى التنقيب في بيئات العالم الكثيرة عن محفزات حيوية فريدة غير مسبوقة. وفي الوقت ذاته، فإن شركات عدة استلهمت عملية النشوء نفسها وطورت تقنيات جديدة، وخاصة في مجالي هندسة البروتينات وعملية النشوء الموجَّهة، لتحقيق تنوع جزيئي عظيم على أمل تحسين الفاعلية أو توليد وظائفية غير مسبوقة. إن هذه التقنيات - عند اقترانها بعملية غربلة فائقة - ستعطينا أنزيمات ذات مواصفات محدَّدة مسبقاً ومثالية لظروف العمليات المزمع تنفيذها. أما على المستوى الخلوي، وبفعل الهندسة الأيضية، فيمكن تصميم محفزات حيوية جديدة أو مُحسَّنة من خلال تعديل تفاعلات كيميائية ـ حيوية معينة أو إقحام تفاعلات جديدة في الخلية.

المُحرِّكات الاقتصادية : منتجات جديدة من مواد خام متجددة

بينما أدت المخاوف البيئية إلى هيمنة مفهوم الاستدامة على الأجندة الصناعية، وبينما جعلت التطورات المتلاحقة في التقنية الحيوية تطوير عمليات صناعية أكثر نظافةً أمراً ممكناً، فإن المتطلبات الاقتصادية هي التي ستقرر في نهاية المطاف تبني التقنية الحيوية في صناعة المواد والمواد الكيميائية وأشكال الوقود. فاستخدام الموارد المتجددة مرتبط ارتباطاً وثيقاً بسعر المواد الأحفورية الخام التي قد تحل محلها. إننا نعيش الآن عصراً تهيمن عليه المواد الخام المستمدة من الوقود الأحفوري، وهي الحقيقة التي تدعمها التكلفة المنخفضة للطاقة وشبكة التوزيع الراسخة التي تتيح نقل المواد الخام بطريقة ميسرة من المصدر إلى المستهلك. وعلى حين أن تكلفة بعض البدائل ذات الطبيعة الحيوية، كالذرة على سبيل

المثال، منخفضةٌ نسبياً، فإن تكلفة معالجتها لتكون ملائمة لاستعمالات لاحقة، تجعلها غير منافسة. لقد أدى ارتفاع أسعار البترول والتساؤلات المثارة حول عُمر هذا المورد الخام معاً إلى زيادة الاهتمام بإنتاج مواد كيميائية من موارد متجددة في الولايات المتحدة الأمريكية، وهو الأمر الذي أدى في المحصلة إلى تزايد الدراسات التي تُجرى في هذا المجال. وعلى سبيل المثال، نجد أن قانون دراسات الكتلة الحيوية وتطويرها الذي أقره الكونجرس الأمريكي يطالب وزارة الطاقة الأمريكية بأن تنظر في الكتلة الحيوية كمصدر للسكر الخام لغايات إنتاج المواد الكيميائية وأن تقلل تكلفة وقود الإيثانول الحيوي. وتتوقع وزارة الطاقة الأمريكية أن تأخذ شركات مثل نوفوزيمز (Novozymes)، وجينيكور إنترناشيونال (Genencor International) مكانة الريادة في التوصل إلى أنزيمات جديدة ستقلل تكلفة تحويل الكتلة الحيوية. ومؤخراً، حصلت شركات؛ مثل: داو كيميكال (Dow Chemical)، وإيستمان كيميكال (Eastman Chemical)، وروم وهاس (Rohm and Haas)، ودو بونت (DuPont) على منح فيدرالية مهمة للبدء في استكشاف استخدامات المواد الخام الحيوية البديلة في إنتاج المواد الكيميائية والوقود.

ومن المصادر المحتملة للمواد الخام البيولوجية الزراعة والمحاصيل الحرجية والمخلفات البيولوجية؛ إذ تنتج الزراعة سنوياً ما مقداره 30 تريليون رطل من الحبوب وكميات أكبر من ذلك بكثير من المنتجات الجانبية غير المستغلة استغلالاً تاماً في الوقت الراهن. هذه الكميات المذهلة من المواد تعادل تقريباً كميات البترول التي نستغلها سنوياً. وطوال القرن المنصرم تقريباً، كان النفط أقل تكلفةً بكثير من المنتجات الزراعية. غير أن ارتفاع أسعار النفط وتحسن الإنتاجية الزراعية قد قللا من مزية التكلفة المنخفضة للنفط، بل أضحت المواد الخام الرئيسية المستمدة من الزراعة على قدم المساواة تقريباً مع تلك المنتجة من النفط، بل إن بعض المواد الخام؛ مثل: النشا، والسَّلولوز، والزيوت أضحت تُستمد من النباتات وتدخل في إنتاج بعض المواد الحيوية، والمواد الكيميائية، وأشكال من الوقود. كما أضحى السكر القابل للتَخَمُّر والمستمد من الذرة، والشمندر، وقصب السكر يُستخدم في عمليات التخمر الميكروبية لإنتاج الإيثانول، وحَمْض الخلّ، والأحماض الأمينية، والمضادات الحيوية، وغيرها من المواد الكيميائية. غير أن نمو صناعة المواد الكيميائية من أصول حيوية سيعتمد على تطور تقنيات المعالجة أكثر فأكثر بحيث نصل إلى

مصادر رخيصة للسكر القابل للتخمُّر؛ مثل: السَّلولوز وأشباه السَّلولوز الموجودة في المخلفات البيولوجية.[2]

وإذا ما أردنا حقاً أن نوسِّع الإنتاج الصناعي الحيوي فإن علينا أن نطور قدراتنا التصنيعية. وقد يتحقق ذلك من خلال إقامة "مصافٍ حيوية" تتولى المعالجة الفعالة للنباتات التي ستنتج في المحصلة مجموعة من المنتجات ذات الأصول الحيوية. وعلى غرار المصافي النفطية، فإنه من المتوقع أن تخفض المصافي الحيوية تكلفة المعالجة يوماً بعد آخر، فيجعل هذا منتجاتها أكثر تنافسية في الأسواق.[3]

لقد وصفت ثلاث قوى محركة رئيسية لعمليات التقنية الحيوية الصناعية: المجتمعية والتقنية والاقتصادية. فالمخاوف المجتمعية من الآثار البيئية ومستقبل رفاهية كوكبنا، والتطورات المتلاحقة في مجال التقنية الحيوية، والقضايا الاقتصادية المتعلقة بالمواد الخام، قد التقت معاً لتجعل الوقت الراهن مناسباً لتطبيق التقنية الحيوية في إنتاج المواد. ولم تكن هذه التطورات لتمضي من دون أن ترصدها أعين الحكومات والشركات معاً؛ حيث قامت شراكات عدة لجعل الاستدامة الصناعية حقيقةً واقعةً وتحقيق المنفعة من الثورة التقنية القادمة.

في القسم التالي من هذا الفصل سأطرح بعض الأمثلة على تأثير التقنية الحيوية في العمليات الصناعية على صعد مختلفة.

علم الأحياء سبيلنا إلى صنع الأشياء

على حين أن المواد المستمدة بالاستعانة بالتقنية الحيوية لا تمثل إلا جزءاً يسيراً من أسواق المواد التي تصل قيمتها إلى تريليونات الدولارات، فإنه من الواضح أن تأثير التقنية الحيوية يزداد عمقاً يوماً بعد آخر، وقد شهدت الأعوام الخمسة الأخيرة تقدماً واسعاً. وقد وصلت بعض العمليات الجديدة إلى مرحلة تجريبية متقدمة قبل البدء في تسويقها تجارياً، فضلاً عن الكثير من العمليات الأخرى التي هي في طور التطوير. وسأقدم هنا بعض الأمثلة على العمليات الحيوية التجارية الراهنة، وبعض العمليات التي هي في طور التطوير؛ لأبين التحولات الكيميائية والمادية الواسعة التي تلوح في الأفق.

هناك طريقتان رئيسيتان للاستفادة من التقنية الحيوية في إنتاج مواد جديدة، من خلال التحول الأنزيمي لمادة بادئة، أو من خلال التخمر الميكروبي لمادة خام بسيطة لتصبح مادة كيميائية مرغوباً فيها عبر تحولات عدة. (تتم في الوقت الراهن دراسة طرائق أخرى؛ مثل: استغلال النباتات والحيوانات في إنتاج مواد معينة، غير أن الإطارين الزمني والاقتصادي غير ملائمين إلى حد بعيد، وهذا يرجِّحُ كفة الإنتاج الأنزيمي والميكروبي ليكونا على الأرجح الطريقة المعتمدة على المدى البعيد.) وتُستخدم الأنزيمات - وهي محفزات بروتينية مذهلة موجودة في كل الكائنات الحية - كمحفزات حيوية لتفعيل تحولات كيميائية صعبة. كما أن التقنيات الجديدة في نشوء الأنزيمات وهندسة البروتينيات واختيارها قد أتاحت للعلماء أن يولدوا محفزات حيوية محسنة يمكن أن تكون فاعلة في ظروف تشغيلية تجارية مختلفة وعلى مجموعة واسعة من المواد البادئة ذات الأهمية التجارية. وتتم الاستعانة بالتخمر الميكروبي عند الحاجة إلى كميات ضخمة من المواد أو عندما تقتضي المهمة تحويل مواد خام متاحة كالجلوكوز إلى جزيئيات ذات بنية مختلفة كالإيثانول. وتُبذل في الوقت الراهن جهود دؤوبة لتطوير أدوات متقدمة لهندسة الميكروبات؛ بحيث تنتج منتجات مختلفة، فيوسع هذا في المحصلة نطاق التحولات الميكروبية الصناعية.

الأنزيمات الصناعية

تمت الاستفادة من الأنزيمات الموجودة في الطبيعة في مجموعة من العمليات الواسعة منذ أمد بعيد. وفي الواقع، ورد أول ذكر للاستفادة من الأنزيمات في صناعة الأجبان في قصائد يونانية تعود إلى عام 800 قبل الميلاد. ففي الأيام الخوالي كانت الأنزيمات تُستخدم مع الميكروبات في صناعة الأجبان، والخميرة المُتخمِّرة، فضلاً عن صناعة الجلود. غير أن الأنزيمات الصرف تم إنتاجها بطريقة تجارية في مطلع القرن العشرين، والآن نجد أن معظم الأنزيمات التجارية يُنتج في الميكروبات المُهندَسة. وفي عام 2002 بلغت القيمة المقدرة لسوق الأنزيمات الصناعية 1.5 مليار دولار أمريكي. وهذه هي سوق الأنزيمات نفسها التي تُستخدم في تطبيقات عدة.

دعوني أقدم لكم هنا أمثلة معدودة على استخدام الأنزيمات في العمليات المختلفة؛ لأبين بعض فوائد هذه المحفزات المذهلة.

لعل أهم مُنتَج في سوق الأنزيمات الصناعية هو البروتياز* المستخدم في صناعة المنظفات والمُطهِّرات؛ فمن خلال تطبيق الهندسة البروتينية لتخليق أنزيمات مُعدَّلة، تم التوصل إلى البروتياز الذي يكون فاعلاً في درجات حرارة متدنية في الغسالات المنزلية. وهذا يوفر لنا طريقةً لتقليل متطلبات الطاقة من دون الإضرار بالفاعلية التنظيفية.[4]

ومن الأمثلة الأخرى ما نراه في صناعة الأقمشة والأنسجة التي طالما تطلبت كميات ضخمة من الماء والطاقة وسببت تلوثاً بسبب عملياتها المبللة. ومن أهم المراحل التي تسبب مشكلات في صناعة الأنسجة تلك المرحلة التي تتطلب "تطهير" القطن في درجات حرارة عالية جداً وفي ظروف قِلْوية بالغة. غير أن شركة التقنية الحيوية نوفوزيم (Novozymes) طرحت بديلاً هو أنزيم اللِّياز البكتيني (pectate lyase) الذي يمكنه أن يزيل ما علق بجدار خلايا ألياف السَّلولوز ولكن في درجة حرارة منخفضة ومن دون الحاجة إلى كمية ضخمة من الماء. وقد حصلت شركة نوفوزيم - بفضل ما توصلت إليه في هذا المجال - على جائزة الرئاسة الأمريكية للإنجازات الكيميائية الخضراء.[5]

أما المثال الثالث الذي يحضرني في هذا السياق فهو استخدام هيدراتيز النَّتريل (nitrile hydratase) في تصنيع مركب وسيط لمبيد الأعشاب الضارة الذي تنتجه شركة دو بونت والمسمى مايلستون (Milestone). فالمادة البادئة في تصنيع هذا المبيد هي 5-CVAM. وفي الأصل تم تطوير عملية تميه كيميائي للأديبونيتريل (adiponitrile) باستخدام ثاني أكسيد المنجنيز كمادة محفزة لإنتاج كميات ضخمة من 5-CVAM، غير أن كميات كبيرة (20٪) من الأديباميد (adipamide) قد نتجت عند تحويل 25٪ من الأديبونيتريل، وهنا نشأت الحاجة إلى مُستخلص مذيب لفصل 5-CVAM عن المادة البادئة غير المتفاعلة. وأدى إخماد ثاني أكسيد المنجنيز بسرعة إلى إنتاج 1.25 كيلوجرام من المادة المحفزة باستخدام كيلوجرام$^{-1}$ من مخلفات 5-CVAM. وبالمقابل، فقد تم تطوير العمليات المحفزة الحيوية "الخضراء" باستخدام هيدراتيز النَّتريل البكتيري من (Pseudomonas chlororapis). هذه العملية الحيوية أنتجت قدراً أقل كثيراً من المخلفات المحفزة ومن المنتجات الجانبية غير المرغوب فيها، وقللت الحاجة إلى مرحلة تنقية المنتج بسبب التحول الكامل تقريباً

---

* أنزيمات عديدة قادرة على تذويب البروتينات. (المترجم)

للمادة البادئة إلى المنتج المرغوب فيه. وقد استحقت هذه العملية جائزة الابتكار الصناعي من الجمعية الكيميائية الأمريكية.

وأخيراً، فإن واحداً من أنجح الأمثلة على إنتاج مواد كيميائية بالمحفزات الحيوية تحويل الأكريلونيتريل (acrylonitrile) إلى أكريلاميد (acrylamide). وقد شاع استخدام الأكريلاميد كمادة بادئة في إنتاج عدد من المشتقات الكيميائية المستخدمة في صناعة البوليمرات لمعالجة الورق، والمواد المُفَتِّتة للترسبات، واستخلاص النفط بطرائق محسنة. وتبلغ متطلبات العالم السنوية من الأكريلاميد أكثر من 180,000 طن متري. وتنتج شركة ميتسوبيشي ريون المحدودة (Mitsubishi Rayon Co. Ltd.) - ومقرها في العاصمة اليابانية - نحو 20,000 طن متري سنوياً من الأكريلاميد باستخدام محفز حيوي من الجيل الثالث هو (Rhodococcus rhodochrous J1) الذي تم عزله أول مرة على يد كوباياشي (Kobayashi) ويامادا (Yamada) وتم تطويره للاستخدامات التجارية لدى شركة نيتو للصناعات الكيميائية (Nitto Chemical Industries)، التي أضحت الآن جزءاً من شركة ميتسوبيشي ريون المحدودة المذكورة آنفاً. ويتم إنتاج الأكريلاميد بصورة متواصلة من الأكريلونيتريل عند درجة حرارة 10 مئوية في سلسلة من المفاعلات الثابتة باستخدام خلايا J1 ذات الأكريلاميد المتعدد المثبت. إن تحويل الأكريلونيتريل تحويلاً تاماً إنما ينجم عنه الأكريلاميد في حصيلة قدرها 99.9٪ وبكثافة نهائية قدرها 50٪ في الماء، على حين تكون إنتاجية المادة المحفزة أكبر من 7000 جرام أكريلاميد من وزن الخلية الجافة. وبالمقارنة مع العملية التحفيزية النحاسية التقليدية، فإن العمليات الحيوية لا تتطلب حرارةً أو ضغطاً، وتقلل الحاجة إلى المعادن الثقيلة، وتنتج قدراً أقل من المياه العادمة من العملية الكيميائية. وللأكريلاميد درجة نقاوة تفوق ما تُنتجه العمليات الكيميائية وهو ما يسمح بتصنيع أكريلاميد متعدد ذي وزن جزيئي أكبر. وقد رخصت شركة إس. إن. إف. فلورجر (SNF Floerger) - ومقرها في سان ـ إتيان في فرنسا - عمليات شركة ميتسوبيشي ريون المحدودة وهي تخطط لبناء خمسة مصانع جديدة لإنتاج الأكريلاميد، على أن تبلغ الطاقة الإجمالية لكل منها 20,000 طن، كما أن شركة ميتسوي الكيميائية (Mitsui Chemicals) تخطط للبدء في إنتاج محفزات حيوية من الأكريلاميد.[6]

إن الأنزيمات - كما أوضحنا سابقاً - قد وجدت طريقها إلى عدد من المنتجات والعمليات الصناعية المختلفة. وقد تكون الأنزيمات مُكوِّنات في منتجات نهائية؛ مثل المنظفات، وقد تكون محفزات بيولوجية كما في العمليات الصناعية للأنسجة والأقمشة والمواد الكيميائية المتخصصة. وفي الكثير من الحالات، تحل الأنزيمات محل العمليات الكيميائية، فيحسِّن هذا الدقة والمحصلة النهائية، ويؤدي في العادة إلى توفير كبير في استهلاك الموارد، علاوةً على تقليل الآثار البيئية الضارة. ومن المتوقع، في ظل التطور الذي يشهده مجال الهندسة البروتينية والعملية النشوئية المُوجَّهة، أن تتوسع الاستخدامات الصناعية للأنزيمات لتصل إلى قطاعات أخرى في سوق المواد العالمية. إن هناك - كما أشرنا بإيجاز مسبقاً - بعض الفرص التجارية السانحة المنطوية على الحاجة إلى كميات كبيرة من منتجات معينة، أو القائمة على الحاجة إلى عدد من التحولات الكيميائية من أجل تحويل مواد خام متوافرة بالفعل وقليلة التكلفة إلى منتجات نهائية. وفي هذه الحالات نجد أن استخدام الأنزيمات بالطريقة الموصوفة سابقاً لم يَعُد أمراً قابلاً للتطبيق، وهناك حاجة إلى التخمرات الميكروبية. وسنناقش الآن عدداً من هذه الأمثلة.

العمليات الحيوية المبنية على التخمر

يمكننا أن نرى أمثلة مبكرة على المحفزات الحيوية الميكروبية الخلوية في إنتاج الأغذية أو المُضافات الكيميائية في التطبيقات الغذائية. وعلاوةً على إنتاج المشروبات الكحولية، فإن ذلك يشمل التخمرات المنتجة للأحماض اللَّكتيكية في اللَّبن والأطعمة المُعدة من الكُرنب المُخمَّر، فضلاً عن الأحماض الخَلِّية في الخل نفسه. ومع توسع معرفتنا بعلم الأحياء، توسعت أيضاً استخداماتنا للكائنات الحية المجهرية في إنتاج مواد أخرى، بما في ذلك أشكال الوقود، والمواد الكيميائية العامة والمتخصصة، والعقاقير الدوائية. ومن الأمثلة التي تحضرنا هنا إنتاج الريبوفلافين (riboflavin). فالريبوفلافين، أو فيتامين ب 2 أنتجته شركة روش (Roche) بطريقة كيميائية من الجلوكوز. وكانت الطريقة الأصلية قد استخدمت أول مرة عام 1942 وتضمنت ست خطوات كيميائية لاستخلاصه من الجلوكوز. وفي عام 1980 تم تطبيق طريقة وسيطة تضمنت تحويل الجلوكوز إلى ريبوز من خلال عملية تخمرية بالإضافة إلى محفزات كيميائية أخرى لاستخلاص الريبوفلافين. وفي عام 2000 طبقت شركة روش عملية حيوية يمكنها أن تنتج نحو 2000 طن سنوياً

باستخدام كائنات حية مجهرية متأشبة الدنا، وهي من العَضَويَّات الرقيقة وتُدعى (Bacillus subtilis). وانطلقت العملية الحيوية الكاملة عام 1988 وتضمنت الهندسة الأيضية للعَضَويَّات الرقيقة المسماة (Bacillus subtilis)؛ بحيث يتحول الجلوكوز إلى ريبوفلافين. وتظهر دراسة تحليلية لدورة الحياة في هذه الحالة أن العملية الحيوية أكثر استدامةً من العملية الكيميائية، ومرد ذلك - في معظمه - إلى استخدام مواد خام متجددة. وإليكم هذا المثال الذي حلت فيه العمليات الحيوية محل العمليات الكيميائية بعد ستة عقود بسبب المنافع البيئية.[7]

خلقت المشكلات المتعلقة بالبيئة العالمية وإدارة المخلفات الصلبة - مؤخراً - اهتماماً كبيراً في تطوير بوليمرات متحللة حيوياً. وسعت شركات عدة؛ مثل شركة ميتابوليكس (Metabolix) - ومقرها مدينة كامبردج بولاية ماساشوستس - لإنتاج مثل هذه المواد باستخدام بوليمر مُستخلص بيولوجياً، هو بوليهيدروكسيالكنوت (polyhydroxyalkanoate)، وهو عبارة عن بوليمرات تتألف من هيدروكسيالكنوت (hydroxyalkanoate) وتتراكم في ميكروبات مختلفة في شكل مواد مُخَزِّنة للطاقة والكربون. وقد أثارت هذه البوليمرات اهتماماً متفرقاً منذ ملاحظة البوليهيدروكسيالكنوت أول مرة عام 1926. أما مؤخراً، فقد تحقق تقدم كبير في هذا المجال من خلال الهندسة الجينية لإنتاج كميات كبيرة من بوليهيدروكسيالكنوت - خلال التخمر - من أشكال طبيعية من السكر. وقد هندست شركة ميتابوليكس سلالةً من الجراثيم الإشريكيَّة القولونية (Escherichia coli) لإنتاج البوليهيدروكسيالكنوت من سكر القصب ذي الدرجة التجارية، وقد أعلنت مؤخراً عن تحقيق إنتاج بلغ 50,000 لتر بمعدل إنتاج وعيار حجمي مرتفعين.

وتمثل البوليلاكتيدات (polylactides) مجموعةً مثيرةً للاهتمام من البوليمرات الحيوية التي جذبت الانتباه مؤخراً نتيجة للجهود التي تبذلها شركة كارجيل ـ داو (Cargill-Dow) لإنتاج البوليمر من موارد متجددة سنوياً. وتُعد البوليلاكتيدات من البوليسترات الأليْفاتيَّة التي تتألف من منوميرات ذات طبيعة حمضية لكتيكية. وهي لَدْنة حرارية ومُتحللة حيوياً. لقد تمكنت شركة كارجيل ـ داو من تقليل تكلفة إنتاج الأحماض اللكتيكية من خلال تطوير عملية تخمرية لتصنيع المتجازئين اللاتناظريين للأحماض اللكتيكية من الجلوكوز. وسيكون

في وسع شركة كارجيل ـ داو أن تنتج - تحت الاسم التجاري (Natureworks PLA) - نحو 140,000 طن متري سنوياً من البوليلاكتيدات في مصنعها الذي افتتح مؤخراً في مدينة بلير في نبراسكا عندما يعمل المصنع بطاقته القصوى. ومن المقرر أن يستهدف مُنتج (Natureworks PLA) أسواق الألياف والتغليف حول العالم.[8]

وأخيراً، من الأمثلة الأخرى على المواد الكيميائية ذات الإنتاج الضخم (1,3-propanediol)، أو ما يُعرف باسم (3G) بين علماء الكيمياء وخبراء البوليمرات. يُعد (3G) من المنوميرات وقد عرفه خبراء البوليمرات التصنيعية منذ عهد بعيد. ويمكن استخدامه في صناعة البوليسترات ذات المواصفات الجذابة جداً. وبرغم أن شركتي شيل (Shell) وديجوسا (DeGussa) قد طورتا طرائق كيميائية لتجميع (3G)، فإن هذه الطرائق الكيميائية لم تكن مجديةً قط من الناحية الاقتصادية إلى الحد الذي يدفعنا إلى تطوير منصة بوليميرية مبنية على (3G). وفي منتصف تسعينيات القرن العشرين، تحدى علماء كيمياء البوليمرات في شركة دو بونت زملاءهم علماء الأحياء لتطوير طريقة تصنيعية حيوية. وبرغم أن الإنتاج البيولوجي لـ (3G) من الجليسيرين معروف في الأدبيات منذ أكثر من خمسة عقود، فإن الجهود السابقة والمحاولات المتلاحقة لإنتاج الجليسيرين من خلال العملية التخمرية لم تكن مجدية من الناحية الاقتصادية. بيد أن شركة دو بونت قد دخلت في شراكة مع شركة جينينكور إنترناشيونال (Genencor International) مبنيةٍ على طرائق التقنية الحيوية المعاصرة، وطورت الشركتان محفزاً بيولوجياً يمكنه أن يحول الجلوكوز إلى (3G) وفقاً لإنتاجية وعيارات حجمية ضخمة. وكان لابدّ من إجراء تعديلات عدة في الكائن الحي المضيف مع إدخال بعض الجينات الغريبة من أجل إنتاج (3G) بالكثافة الفائقة الضرورية لنجاحه من الناحية التجارية. وقد بيَّن نجاح هذه الجهود العلمية الحثيثة أنه من الممكن أن نعيد توجيه مسار تدفق الكربون في الميكروبات لصناعة مواد كيميائية عامة من خلال العملية التخمرية؛ لذا، فإن (1,3-propanediol) له القدرة على أن يكون إحدى المواد الكيميائية العامة المنتجة على نطاق واسع من خلال العملية التخمرية.

غير أن العملية التخمرية التقليدية يمكنها أن تنتج كميات ضخمة من الإيثانول. ويمكن أن يعطينا إنتاج كميات ضخمة من الإيثانول من الكتلة الحيوية وقوداً أكثر نظافة من مصدر طاقة يُعد مستداماً. ويُقدر الإنتاج الحالي من الإيثانول الحيوي في الولايات المتحدة الأمريكية بنحو 1.6 مليار جالون ومن المتوقع أن يصل إلى 5.6 مليارات جالون بحلول عام 2008. وفي هذا السياق، تهدف تشريعات الاتحاد الأوربي الخاصة بأشكال الوقود الحيوي إلى زيادة استخدام السوق للإيثانول الحيوي من 2٪ من الوقود المستخدم في عام 2005 إلى 5.75٪ بحلول عام 2008. ومن الممكن أن يصل الإنتاج العالمي من الإيثانول الحيوي إلى نحو ملياري طن سنوياً في العقد المقبل. ويتم تصنيع معظم الإيثانول المنتج حالياً من سكر الذرة، ومن أجل الوصول إلى نقطة التكلفة الضرورية لإنتاج كميات كبيرة، لابد من الاستفادة من المصادر الرخيصة للسكر، مثل السَّلولوز وأشباه السَّلولوز. وتتبنى وزارة الطاقة الأمريكية برنامجاً نشيطاً لإنتاج الإيثانول الحيوي وهو يدعم مجموعة من التقنيات في صناعات مختلفة على أمل أن يصبح الإيثانول الحيوي منافساً من حيث التكلفة للوقود الأحفوري. ولابد أن تصبح المصافي الحيوية المعتمدة لهذه المنهجيات قادرة على إنتاج الإيثانول الحيوي وغيره من المنتجات المفيدة بطريقة مستدامة.[9] ومن المتوقع أن تخلق هذه الصناعة مئات الآلاف من الوظائف حول العالم، وخاصة في المناطق الريفية.[10]

وأخيراً، من المرجح أن تهيمن الكربوهيدرات على الساحة كمواد خام على المدى البعيد، غير أن هناك مصدراً آخر وفيراً للكربون وهو سريع التأثر بالتحولات البيولوجية هو الميثان. ويملك العالم الآن 5,000 تريليون قدم مكعب (16 تريليون طن متري) من احتياطات الميثان، الذي نربطه بعمليات إنتاج النفط، كما أن معظم الكميات المنتجة في الوقت الراهن يذهب هباء؛ لأنه ببساطة يحرق في الموقع، منتجاً ثاني أكسيد الكربون من دون أي فائدة تُذكر. وهناك نوع من الميكروبات التي يمكنها أن تعيش على الميثان وتحوله إلى كتلة حيوية ومواد كيميائية أخرى. وقد بدأت مختبرات الشركات، ومنها مختبرات شركة دو بونت دراسة هذه الكائنات المجهرية لتحديد سبل إنتاجها والاستفادة منها في إنتاج مواد معينة من الميثان. وبرغم أن الميثان ليس مصدراً متجدداً بحد ذاته، فإننا سنحقق منفعةً عظيمةً لاقتصاداتنا وبيئتنا إذا اعتمدنا منهجية فعالة وغير مستنزفة لرأس المال للاستفادة من الميثان في إنتاج المواد الكيميائية وغيرها.

علم الأحياء مصدر إلهام للمواد الجديدة

في العادة تصنف الفصول الأولى في كتب علم الأحياء الكيانات البيولوجية على أنها "بنيوية" أو "وظيفية". ومن أمثلة المواد "البنيوية": الجزيئيات المفردة، والمواد المتشكلة مثل خيوط البوليمر (الإيلاستين أو الحرير)، والبنى الصُفَيحية (مثل صُفيحات بروتين β والطبقات الثنائية الشحمية)، علاوةً على الأجسام الثلاثية الأبعاد ذات البنى المفصلة على المستويين المجهري والعياني (مثل الغُضُروف والعظم والأظافر والشعر). فهي المواد التي لها بعض الأنشطة الكيميائية ـ الحيوية، غير أن الغاية الأساسية منها إعطاء بنية وأبعاد مادية للكائنات البيولوجية. وبالمقابل، فإن المواد "الوظيفية" تشمل الجزيئيات البسيطة (مثل الأنزيمات)، والنظم الكلية (مثل نظم النقل ونظم إشارة المُستقبلات) علاوةً على البنى العيانية المعقدة (مثل الأسْواط والأعضاء) التي توفر تحولات كيميائية ـ حيوية للمواد وتستفيد منها لأداء وظائفها. وتُعد المواد الوظيفية الأفضل دراسة حتى يومنا هذا، ولا مجال لمقارنتها بغيرها من هذه الناحية. ولكن مؤخراً، بدأت المؤسسات البحثية تصب اهتمامها على مهمة أكثر صعوبة، هي فهم التفاصيل الجزيئية للمواد الحيوية البنيوية وسبل إنتاجها على المستوى التجاري. وبرغم أننا مازلنا في مرحلة مبكرة للاستفادة من هذه المعلومات تجارياً، فإن هناك أمثلة قليلة على الدراسات التي تتم حالياً والتي تعطينا لمحةً عما ستكون عليه الحال في المستقبل.

هناك الكثير والكثير من البنى البيولوجية والمواد البيولوجية ذات الصفات غير المألوفة أو المثيرة للاهتمام. ويجد الشعراء والرسامون والمهندسون وعلماء المواد في المواد الطبيعية مصدراً خصباً للإلهام. ويدرك عالم الأعمال القيمة التجارية الممكنة للكثير من هذه المواد والبنى، غير أنه مازال من الصعب جداً تصنيع هذه المواد بكميات كبيرة وبتكلفة معقولة.

وفي القسم الآتي سأتطرق بإيجاز إلى ثلاثة أمثلة من المواد التي انتقيتها لأبين لكم الظواهر المادية المختلفة، والإنجازات التقنية، والاعتبارات الاقتصادية. وهي:

- الأنسجة الحريرية حيث يتم تحديد وزن المادة النهائية وصفاتها من خلال ابتكارات التقنية الحيوية.

- البروتينات التي تزيد قوة المواد غير العضوية المركبة عند توافرها بمستويات ضئيلة جداً.
- المُلَوِّنات التي لا تضم صِبْغاً أو خِضْباً غير أنها تخلق ألواناً مكثفةً بفضل التأثيرات الفوتونية.

الحرير كبروتين بنيوي

يُعدُّ الحرير من أوائل المواد المصنعة حيوياً التي اهتم بها العلماء. والحرير عبارة عن أنسجة بروتينية حشرية استخدمتها البشرية وقدرتها طوال آلاف السنين بسبب جمعها بين صفات مميزة، مثل المتانة الشدِّية والمرونة والنعومة وسهولة صِبْغها وملمسها على الجلد. ولكن، من زاوية تقنية نجد أن الحرير من الأنسجة الأحادية المؤلفة من بروتينات نقية تقريباً ولا تختلط معها مواد أخرى، أو بنى ثالِثِيَّة أو عُقد بنيوية. ومن الاحتمالات المغرية من الناحية التجارية التي بدأ كثير من المختبرات والشركات الصناعية في استكشافها تصنيع حرير أكثر ملاسة، وأقل تكلفة، وذي درجة نعومة فائقة، ومؤلف من أنسجة أحادية متواصلة (وليس الاهتمام فقط بالطول الذي تنسجه الحشرات). وتجري شركات مثل دو بونت دراسات مكثفة على حرائر الحشرات وسبل تطويرها، وإنتاجها، وتسويقها في نهاية المطاف. وتمثل تجربة الشركة في هذا المجال الإحباطات والإنجازات الملازمة للأبحاث الأولى في مجال المواد المُنتجة حيوياً.

ولإعطاء القراء خلفية علمية بسيطة، فإن معظم الأنسجة المرنة أو "المتمغِّطة"، مثل ليكرا (Lycra)، تتألف من تسلسلات متكررة من "الفِلْقات الصلبة" و"الفِلْقات الناعمة" التي تتفاوت بحسب طول الأنسجة. وتدخل اللُّيَيْفات المِجْهرية البوليمرية في الأنسجة الأكبر حجماً من خلال عملية غَزْلية أو بَثْقِيَّة. وتتفاعل جُزيئيات البوليمر بطريقة تسمح بـ "المرونة" و"التمغطية". وفي ظل هذه المعرفة الأساسية افترض العلماء أنه من الممكن إنتاج جيل جديد من الأنسجة. وكان افتراضهم مبنياً على الاعتقاد بأن التحكم تحكماً كاملاً بتسلسل المنوميرات، وطول البوليمرات - بفضل عملية تصنيعية جينية - أضحى أمراً ممكناً ومغرياً من الناحية الاقتصادية. ومن زاوية بوليمرية، نجد أن القدرة على التحديد بدقة تسلسل منوميرات عشرين حمضاً أمينياً مختلفاً في أنسجة مُتعددة

الأميدات إنها تبشر بقدرة غير مسبوقة على تصنيع مـواد ذات مواصـفات مرغـوب فيهـا. ويبدو أن كلاً مـن الطبيعـة الكيميائيـة والـصفات الكثـيرة المتاحـة في الأحمـاض الأمينيـة العشرين سيوفر مجموعة فريدةً وغنيةً كيميائياً من المكونات الرئيسية التي ستتمكن بفضلها من تصميم جيل جديد من "الحرائر" المطورة التي تتصف بدقة تسلسلية لا يمكن تحقيقهـا بالعملية التجميعية الكيميائية.[11]

وكان التحدي الماثل أمام مهنـدس البروتينـات أن يـستغل القيمـة المتأصـلة المتحققـة تحديداً من التحكم في التسلسلات بما يحقق له وظائفية ما في أنـسجة معينـة. وتـم تـصميم الكثير من البوليمرات البروتينية الشبيهة بالحرير وإنتاجها عبر عملية تخمرية، وقـد رصـد الخبراء مجموعة من الصفات. غير أن أيـاً منهـا لم يملـك المتانـة والـشدة الكـافيتين اللتـين تتيحان التسويق تجارياً. ويبدو أن فهمنا لتسلسل شفرة الدنا أكبر عُمقاً واتساعاً من فهمنـا لارتباط المنوميرات في تشكيل صفات مجهرية معينة.

كما أننـا تعلمنـا الكثـير حـول أهميـة العمليـة النـسجية الداخليـة في الحـشرات. ففـي الحشرات، نجد البوليمرات البروتينية في ثلاث مراحل مختلفـة عـلى أقـل تقـدير: مرحلـة لَزِجة وسائلة تُخزن في الغدة قبيل البدء بالعملية النسجية، ومرحلـة أقـل لزوجـةً وسـيولة ذات طبيعة بِلَّورية وهي تسبق تشكل الأنسجة مباشرة، ومرحلة الأنسجة نفسها التي ينتج فيها الحريرَ مِغْزَل الحشرة، وفيه أجزاء بِلَّورية وأخرى غير مُتَبَلوِرة.[12] ولهذه الجوانـب مـن تشكل البروتينات الحريرية بطريقة طبيعية آثار عظيمة في الصفات النهائية للمـواد المنتجـة وقد ثبت أنه من الصَّعب استنساخها.

ونتيجة لذلك، فإن التقنية لم تنفذ إلى حد بعيـد حتـى اللحظـة مـا وعـدتنا بـه في هـذا المجال، وإن ظل الكثير من الباحثين في هذا المجال متفائلين بأننا سـتتمكن بفـضل التقـدم الذي يشهده مجال إنتاج البروتينات ومنهجيات الغربلة السريعة مقرونـاً بتقنيـات تـشكيل الأنسجة بطريقة مُحسنة من إنتاج كميات تجارية وضخمة من البروتينات البنيوية المُصمَّمة. وفي الواقع، واصلت بعض الشركات أبحاثها وتطويرها في هذا المجال، وتمكنت من إنتاج حرائر غير مألوفة في الميكروبات والحشرات وفي حليب الحيوانات. ومن المرجَّح أن نـرى، في البداية، هذه الحرائر تُسوق بكميات ضئيلة ولكن بقيمة عالية، وكلنا أمل في أن تساعدنا هذه التجارب في النهاية على تطوير استخدامات أكثر للبروتينات البنيوية المُصمَّمة.

البروتينات التي تنظم البنى من حولها

في استطاعة الكثير من الكائنات البحرية أن تصنع بنى معقدة من مواد غير عضوية معظمها متوافر بشكلٍ مُذاب في مياه المحيط. إذ يصنع الدِّياتوم (من الطحالب النهرية أو البحرية المِجْهرية) والإسفنج بنى دقيقة ثلاثية الأبعاد من أكسيد السيليكون. كما تصنع الرِّخْويات كافة أشكالاً من القواقع مؤلفة في معظمها من كربونات الكالسيوم، غير أن متانتها البنيوية تفوق بكثير الأشكال الطبيعية لكربونات الكالسيوم، مثل الطبشور أو الكالسيت. وفي المثالين، نجد أن البنى الناتجة المتشكلة من تبلورات متكررة لأنماط بروتينية رئيسية وأكسيدات غير عضوية مذهلة.

وقد حققت جماعات علمية وبحثية تقدماً مهماً في فهم الطبيعة البيولوجية والكيميائية والفيزيائية والبنيوية الكامنة وراء هذه المواد.

وسنتطرق فيما يأتي إلى بعض هذه الجهود، برغم توافر مراجع مكثفة حول هذه القضية.[13]

لقد قدمت جماعة دان مورس (Dan Morse) في جامعة كاليفورنيا في سانتا باربارا مثالين على "اللمسة البيولوجية" - في شكل كمية ضئيلة من البروتينات - ودورها في إحداث تغيير تام في بنية معدنية في معظمها. فقد درست الجماعة حيوانين بحريين على المستويات الجينية والكيميائية ـ الحيوية والنانوية.

فأُذْنُ البحر (abalone) من الرِّخْويات وموطنه الأصلي قبالة سواحل كاليفورنيا. له صَدفة مُرَكَّبة ومؤلفة من صُفيحات رقيقة من بِلَّوْرات كَرْبونات الكالسيوم وهي تضم نسبة ضئيلة جداً من البروتين. وتبلغ مقاومة هذه البِنْية للتشققات ثلاثة آلاف ضعف مقاومة كربونات الكالسيوم وحدها. وبرغم أن هذه البنية تضم نسبةً ضئيلةً من البروتينات، فإنها مسؤولة مباشرة تماماً عن مناعة المادة ومتانتها، بل دقة بنيتها النانوية وتفردها. وقد شملت دراسة هذا الحيوان مباحث علمية وأدوات تقنية متعددة، وهو الأمر السائد الآن في الدراسات العلمية، وقد يكون مفيداً في هذا السياق أن نعُدِّدها. فقد استعانت الجماعة العلمية بالمِجْهرية النووية الفائقة، والأشعة السينية الانحرافية، والمجهرية

الضوئية، وعلم الأحياء الجزيئي لتحليل البروتينات، والجينات، والآليات الجزيئية المسؤولة عن هذه العملية.[14]

ومن زاوية مادية صرف نجد أن من أهم النتائج التي توصلت إليها الجماعة العلمية اكتشاف الآلية التي تمكن الحيوان البحري من السيطرة على النقلة المفاجئة من شكل معدني من كربونات الكالسيوم، هو الكالسيت، إلى شكل معدني مختلف هو الأراجونايت. هذه "النقلة الجينية" لابد من تفعيلها مع إنتاج أُذْن البحر المادة القوقعية أو الصدفية واللؤلؤة المسطَّحة، أو "أم اللآلئ" التي تغطي السطح الداخلي للقوقعة. ومن خلال تقنية البروتينات المأخوذة من بلَّورات الكالسيت والأراجونايت استطاعت المجموعة العلمية أن تتفهم آلية التحكم بالشَّبكية النووية لبلَّورات الكالسيت والأراجونايت المنتجة مخبرياً، فمكنها هذا في النهاية من إنتاج الشكل المفضَّل من الناحية الدينامية الحرارية والشكل غير المفضَّل ببساطة من خلال إضافة كمية ضئيلة من البروتينات المحفزة في المحلول. وتجعل هذه البروتينات تصنيع مواد مركبة من خلال السيطرة الدقيقة على البنى البلورية عند أبعاد ميكرونية ممكناً.[15] وانطلاقاً من هذه النتائج، بدأت هذه الجماعة العلمية إجراء تجارب لإنتاج كميات تجارية من مواد مفيدة مثل الرقائق البلَّورية المتعددة المعادن، ذات الصفات المغناطيسية و"شبه الموصلية" المرغوب فيها.[16]

هذه السيطرة البروتينية على الترسبات غير العضوية من محلول ما ليست مقصورة على كربونات الكالسيوم. فقد وسعت الجماعة العلمية نفسها أبحاثها لتتضمن مواد أكسيد السيليكا التي يشكلها الإسفنج البحري ويراكمها بطريقة طبيعية. وفي الإسفنج يتم إنتاج إبر زجاجية غير أننا مازلنا نجهل وظائفها. وبفضل تطبيقها للتقنية الحيوية والأدوات التحليلية والهندسية النانوية استطاعت الجماعة العلمية نفسها أن ترصد وجود بروتينات يمكن هندستها لإنتاج أنواع متفاوتة من الأشكال والبنى السيليكية، بما في ذلك السيليكا التي تُشبه الأوبال (حجر كريم تتبدل ألوانه)، وشبكات بوليمرية سيليكونية ذات أداء فائق، وهي تختلف باختلاف البروتينات المتوافرة. وأطلقت الجماعة العلمية على هذه العائلة من البروتينات اسماً مبتكراً هو "البروتينات السيليكية" (silicateins). ويتوقع أعضاء الجماعة أن ترشدنا هذه البروتينات وظاهرة الترسبات معاً إلى سبيل جديدة لإجراء عملية تصنيعية غير ضارة بالبيئة للمواد السيليكونية ذات الأداء الفائق.[17]

وفي الحالات السابقة كافة، استطعنا أن نكتشف البروتينات التي تغير البيئة غير العضوية من حولها مُنتجةً بنى متينة ومتنوعة، بفضل القوة المتنامية لعلم الوراثة ووسائل الغربلة الفائقة وأدوات العلم والهندسة المتناهية في صغرها وقوتها في آن واحد.

البروتينات التي تنظم الضوء

وأخيراً، وليس آخراً، فإن علم الأحياء مصدر إلهام في مجال انكسار الضوء؛ إذ تبقى قدرة الكائنات البيولوجية الموزعة، ذات معاملات الانكسار المختلفة، على خلق الألوان قضية مذهلة. فكثير من الحيوانات والنباتات له بنى متطورة تتألف من وحدات متكررة من 100 إلى 1000 نانومتر قادرة على الاستفادة من هذه التأثيرات. ولا تكون هذه مقصورة على السطح الداخلي لقوقعة أذن البحر التي جئنا على ذكرها آنفاً، بل تشمل كائنات بحرية أخرى (مثل فأر البحر)، وكائنات مجهرية (مثل الفيروسات المُقَزِّحة في المحلول)، والكائنات البرية (مثل الحشرات). وفي الأمثلة السابقة كافة، من المتوقع أن يكون للألوان، وطيفها، وكثافتها، ودرجتها، وسرعة الضوء، والطبيعة الخاصة للطبقة السطحية قيمة تجارية مهمة إذا ما استطعنا أن ننتجها من خلال الطرائق الصناعية المعاصرة.

وقد عبَّرت قطاعات تجارية مختلفة عن اهتمامها بهذه الظواهر. ويمكن أن تجد كميات ضئيلة من هذه المواد النادرة، في حال تصنيعها، طريقها بسهولة إلى المواد المستخدمة في التطبيقات الأمنية وقضايا التزييف والتحقق والتوثيق. وإذا ما استطعنا أن نصنع كميات ضخمة، فقد نجد تطبيقات لها في عالم مُستحضرات التجميل والفنون والتحف وغيرها. وإذا ما استطعنا أن نصنع كميات ضخمة بتكلفة منخفضة، فإن هذه الكميات ستجد اهتماماً واضحاً في قطاعات صناعة الأصباغ والملابس والسيارات.

التأثيرات الفوتونية كافة مردها إلى طريقة انعكاس الضوء عن الأجسام المختلفة. والظاهرة الفوتونية تحدث عندما تُبنى مادة بطريقة ما بحيث يتداخل الضوء المنعكس من جسم ما مع الضوء المنعكس من جسم آخر. وتعتمد طبيعة التداخل؛ من حيث كونه إيجابياً أو سلبياً، واللون وكثافة درجته على فرق المرحلة بين الانعكاسين. ومن المتغيرات التي تؤثر في ذلك السمك الكلي للجسم، ومعاملات الانكسار للمواد التي تشكل الجسم،

بالإضافة إلى زاوية الحدوث والطول الموجي للضوء الذي ينير الجسم. لقد طوَّرت الطبيعة مئات البنى الفوتونية التي تمثل أنماطاً ضوئية إيجابية وسلبية، مرئية أو ما فوق بنفسجية أو ما تحت حمراء ضمن مناطق الطيف المختلفة. وسيكون للكثير من هذه البنى أهمية اقتصادية بالغة إذا ما تمكنا من تكرارها أو تقليدها على المستوى الصناعي.

ويظهر عدد كبير من الحشرات ألواناً فوتونيةً، وهذا أخضعها لدراسات مكثفة. ومن أمثلة هذه الحشرات فراشة تُسمى الفراشة الزرقاء (Morpho rhetenor)، وموطنها الأصلي أمريكا الجنوبية؛ حيث خضعت هذه الفراشة لدراسة مفصلة على يد جماعة علمية في جامعة إكستر البريطانية.[18] فالتأثير الفوتوني لهذه الفراشة مصدره بنى معقدة ثلاثية الأبعاد موجودة على سطح جناحها الذي يبدو مسطحاً تقريباً. وبرغم استخدام الأدوات المجهرية التحليلية لدراسة الآلية والبنى ذات الصلة، فمن المؤسف حقاً أن أدوات علم الأحياء الجزيئي لم تحقق شيئاً يذكر في هذا المجال. ويبدو أن البنى المجهرية المتماسكة ذات الأحجام الكافية والموزعة بطريقة ملائمة لحدوث ظاهرة الانتشار الفوتوني ستبقى تحدياً علمياً من الناحية البيولوجية. ويبدو أن ما ذكرناه آنفاً عن الحرير ينطبق على هذه الفراشة، فمن الصَّعب حتى هذه اللحظة تقليد البنية الحشرية المُلهمة على المستوى الصناعي.

وبرغم كل ما سبق، فإن التأثيرات الفوتونية المُستلهمة من الظاهرة البيولوجية قد أُنتجت بالفعل بنسبة مقياسية ملائمة وستُرى في النطاق المرئي في فيلم جديد من إنتاج(3M).[19] وأنا أذكر هذا المثال لأبين نقطة أخرى؛ فعندما تلهم جزيئيات أو عمليات بيولوجية علماء الأحياء وتجعلهم يفكرون بتقليدها أو تصنيعها، فإن تقدماً مصاحباً يحدث في المجالين الكيميائي والهندسي ويدعم المنهجية البيولوجية. كما أن المشكلات الكيميائية تلهم علماء الأحياء أفكاراً للبحث عن حلول لها. إن التقاء العلوم والمباحث العلمية وسعيها معاً لحل مشكلة ما أصبحا نمطاً سائداً اليوم، وأظن أن ذلك سيكون السمة المميزة للإنجازات المستقبلية في علوم المواد.

ومن الأمثلة التي توضح اقتحام التقنية الحيوية لعالم اكتشاف المواد الجهود التي بذلها علماء مثل أنجيلا بيلشير (Angela Belcher) من معهد ماساشوستس للتكنولوجيا فيما عُرف باسم "عرض ـ العاثية". والعاثيات فيروسات تصيب البكتيريا ويستخدمها مهندسو الجينات في إقحام جينات في الخلايا البكتيرية. وتستخدم تقنية "عرض ـ العاثية"

جميعةً من جُسيمات العاثية، على أن يكون كل واحد منها قد عرض على جسم خارجي تسلسلاً من سبعة أحماض أمينية إلى عشرين. وبهذه الطريقة، يمكن استعراض نحو 10^8 من التسلسلات المختلفة في تجربة واحدة. ثم توضع جُسيمات العاثية على اتصال مع الجسم المدروس وتترك لتلتحم به. أما الجُسيمات التي لا تلتحم مع الجسم فتُستبعد. وأما الجُسيمات الملتحمة فتترك لتتكاثر، ثم تُعاد العملية أكثر من مرة، مع مراعاة الصرامة أكثر فأكثر مع الجُسيمات غير الملتحمة (ربما بإضافة مواد فاعلة طاردة للعاثيات غير الملتحمة). والعاثيات التي تلتحم على سطح الجسم بعد كل هذه المحاولات المتشددة لطردها تخضع للدراسة للتحقق من قدرتها الالتحامية. وتقوم تقنيات "عرض ـ العاثية" على الكثير من جوانب البيولوجيا الداروينية والكلاسيكية، بدءاً من توليد التنوع، مروراً بالإيكولوجيا الميكروبية والفيروسية، وانتهاء بالبقاء للأصلح وانتقاء الطبيعة. والنظام الناتج من ذلك سيوصلنا إلى واحد من أفضل نظم الاكتشافات الخاصة بالمركبات العديدة البيبتيدات.[20]

وقد استخدم مُختبر د. بيلشير هذه التقنية تحديداً لاكتشاف نظم ارتباطية جديدة (بيبتيدات) ذات قدرة التصاقية أو التحامية لأحد مكونات أشباه الموصلات سيتيح تجمعاً بلَّورياً نانوياً موجهاً.[21] وجاءت نتائج هذه الدراسة لتظهر صفات مذهلة للتسلسل البيبتيدي لسطح GaAs(100) على A(111) (المنقضي بالجاليوم) أو B(111) (المنقضي بالزرنيخ) لسطح(GaAs). وقد توسع مجال الدراسة حول البيبتيدات والبلورات غير العضوية لتشمل طبقات أخرى مثل (GaN) و(ZnS) و(CdS) و(Fe3O4) و(CaCO3)، وهذا سيثير احتمال ظهور جيل جديد من الأدوات والبنى الإلكترونية المصنعة بطريقة غير تقليدية.

وقد أظهرت هذه المجموعة، وغيرها منذ ذلك الحين، الفائدة المتحققة من استخدام جميعات "عرض ـ العاثيات" لتحديد الرابطة الالتحامية بين التسلسلات البيبتيدية العضوية وطبقات أشباه الموصلات غير العضوية، ومن ثم تطويرها وتوسيعها. وبرغم أن طموحنا بتصنيع أدوات إلكترونية في محاليل معينة مازال بعيد المنال، فإن محاولات تبذل الآن لتطوير مواد لاصقة ومُجَمِّعة معينة لعدد من الأسواق ذات القيمة العالية، بما في ذلك أسواق الرعاية الصحية وأجهزة الاستشعار والإلكترونيات والطلاءات الخارجية.

دور التقنية الحيوية في مستقبل مستدام ومتجدد

ما ذكرناه آنفاً ليس إلا بعض الأمثلة القليلة على استخدامات التقنية الحيوية في إنتاج المواد وتصنيعها. وهناك أمثلة كثيرة لا مجال لذكرها في هذا المقام، غير أنني أشجع المهتمين على الاستزادة حول هذا الموضوع وقراءة الكتابات المتميزة في هذا المجال. كما أرجو أن تكون الأمثلة المقدمة في هذا الفصل كافية لخلق التفاؤل إزاء مستقبل التقنية الحيوية وعلاقتها بإنتاج المواد.

لقد شهدنا فوائد التقنية الحيوية في إنتاج المواد الكيميائية والمواد الأخرى في مجالات عدة، منها على سبيل المثال: إنتاج العقاقير الدوائية والمواد الكيميائية المتخصصة والمكونات الغذائية. فقد استفدنا في الكثير من هذه الصناعات من التفاعلات المُحفَّزة أنزيمياً كجزء من العملية التصنيعية، بل إن الكثير من هذه العمليات يتم على نطاق واسع حقاً، كما هو الشأن في إنتاج شراب الذرة العالي الفركتوز (السكر) لتحلية الأطعمة (8 ملايين طن متري سنوياً) وإنتاج الأكريلاميد (20,000 طن سنوياً).

وقد نكون أقل اطلاعاً على التحولات المعقدة التي تجعل المواد الخام منتجات صناعية من خلال العملية التخمرية، والتي كانت مرتبطةً في السابق بالجزيئيات الغذائية (الفيتامينات والأحماض الأمينية وغيرها). غير أن إنتاج الإيثانول على نطاق واسع ليكون وقوداً بديلاً، وما تم إنجازه مؤخراً بالنسبة إلى الأحماض اللكتيكية المتعددة والبروبانديول، يمثلان مثالين مهمين على الاستفادة من التقنية الحيوية على نطاق واسع.

وكلما اعتمدنا التقنية الحيوية ومنهجياتها، قللنا من حاجتنا إلى الطاقة والمواد الخام واستثمارات رأس المال، وقللنا أيضاً من المخلفات مقارنةً مع المنهجيات الكيميائية التقليدية. وإذا كان الخيار بين المنهجية الكيميائية والمنهجية الكيميائية ـ الحيوية قائماً، فإن من الأمور التي تُؤخذ في الحسبان قبل اختيار أحدهما على الآخر الكلفة التشغيلية واستثمارات رأس المال والأعباء البيئية. وعندما نفكر في اعتماد التقنية الحيوية في الصناعة، فإن علينا أن نعي حجم الاستثمارات الضخمة التي وُضعت في المنشآت التصنيعية الكيميائية في القرن المنصرم، وأن نعي الخبرات الطويلة في الكيمياء والهندسة التي أقامت لنا منشآت عالمية عملاقة تستغل المواد الخام الرخيصة المستمدة من البترول بفاعلية. هذه

الأمور مجتمعةً تخلق بيئة تنافسية إلى حد بعيد، ولابد من أخذها بالحسبان عند تطبيق أي تقنية ناشئة. فالتقنية الكيميائية ذات رؤوس الأموال المناسبة والمؤتمتة بطريقة فائقة هي التقنية السائدة الآن، وليس من السهل أن نستبعد منشآتها التي قد يعمد بعض الناس إلى التقليل من أهميتها. ولو انطلقنا من التكلفة، لوجدنا أن التقنية الحيوية – برغم حسناتها الكثيرة – لن تكون منافسة. ولكن، قد تستفيد مراحل معينة ضمن صناعة قائمة من التقنية الحيوية وتطبيقاتها. وعلينا أن ننظر في الأمر بروية قبل أن نحدد خطواتنا التالية.

ولكن هناك عدداً من القوى الفاعلة التي أظن أنها ستقودنا حتماً نحو اعتماد التقنية الحيوية في إنتاج المواد. لقد ذكرت آنفاً المنافع البيئية المهمة التي يمكن تحقيقها إذا ما اعتمدنا التقنية الحيوية. كما أن الأنزيمات والكائنات المجهرية متكيفة تماماً مع المواد المتجددة ، مثل السكر بأنواعه والمواد المتأكسدة المستمدة من الزراعة والكتلة الحيوية. وفي الوقت نفسه، فإن إنجازات التقنية الحيوية تتيح لنا أن نستفيد من المنتجات الزراعية في إنتاج منتجات قيمة. وهذا ما دفع الشركات التي كانت على الدوام في أسواق تقليدية أن تجد منطلقات جديدة للتعاون أو التنافس؛ إذ جمعت التقنية الحيوية الشركات ذات الخبرة في المواد مع الشركات ذات الخبرة في إنتاج المواد الخام الزراعية ونقلها واستخدامها. ومن الأمثلة التقاء شركتي كارجيل (Cargil) وداو (Dow) لإنتاج الأحماض اللكتيكية المتعددة، وشركتي دو بونت (DuPont) و تيت ولايل (Tate & Lyle) لإنتاج البروباندیول. ومن المشوق حقاً أن نشاهد ما سيحدث في المستقبل القريب في هذا الإطار.

إن السلع الزراعية – عامة – ستكون لها فائدتها كأغذية أولاً وقبل كل شيء. وأظن أننا سنحقق إنجازاً خارقاً في هذا المجال لو أننا تعلمنا سبل الاستفادة من المخلفات الزراعية، مثل تُفل قصب السكر والقش وسيقان بعض النباتات. ويبدو أن هناك بعض الشركات الممولة جزئياً من الحكومات والمهتمة بهذا المجال. وإذا ما أردنا أن نحقق شيئاً في هذا المجال فلابد من التقاء الكيمياء والهندسة والتقنية الحيوية معاً، وإذا نجحنا في مساعينا فإن هذا سيقلل تكلفة المواد الخام اللازمة لعمليات التقنية الحيوية إلى حد بعيد. وسيكون لذلك أثر عظيم في أنواع المواد الكيميائية والمواد الأخرى التي يمكن إنتاجها بطريقة اقتصادية من خلال التقنية الحيوية.

وكما ذكرنا تواً، فإن مواصلة التقنيات الجديدة تقتضي دعماً حكومياً لمواصلة الجهود المبذولة. وهذا ما يحدث الآن، فهناك الدعم الذي اعتدنا عليه للأبحاث الأساسية في الجامعات، أو استخدام الأموال المخصصة لتشجيع قيام شراكات بين الجامعات والشركات لبدء دراسات مكلفة ومحفوفة بالمخاطر ترمي إلى تحديد أفضل السبل للاستفادة من الموارد المتجددة. وتبدو الحكومات والمجتمعات محكومة برؤية مستقبل تسوده الموارد المتجددة، ويشهد توازناً أفضل بين إنتاج المواد الخام واستهلاكها أولاً، وبين مقدار ثاني أكسيد الكربون الذي يتم إطلاقه ثانياً. والتقنية الحيوية ملائمة جداً في هذا السياق ويمكنها أن تسهم في تحقيق مستقبل أكثر استدامة.

ويتعين على الشركات الساعية للاستفادة من التقنية الحيوية أن تعمل مع الحكومات، لا أن تتلقى دعماً مالياً منها فحسب؛ بحيث تنسق جهودها مع السلطات المعنية لضمان إصدار تشريعات لحماية البيئة مع تسارع وتيرة التقنية الحيوية. والتقنية الحيوية لها مخلفاتها أيضاً، وإن كان معظم المخلفات من أنزيمات مستهلكة أو كتلة حيوية متحللة بطريقة حيوية، وربما كان لها فوائدها كمواد مضافة، ومن السهل التعامل معها. ولكن لابد من مراعاة أن تظل الحال على ما هي عليه من زيادة العمليات التصنيعية للتقنية الحيوية.

وعلاوةً على الاستخدامات الصناعية "التقليدية" التي تتم على نطاق واسع، فإن بعض إنجازات التقنية الحيوية التي تمت مؤخراً لا تعتمد على القدرة التصنيعية للتقنية الحيوية بحد ذاتها، بل على استخدام التقنية الحيوية في تطوير أنواع جديدة من المواد ذات سمات غير مسبوقة ويمكن استخدامها بكميات ضئيلة مقارنةً بالمواد التقليدية. هذه الجوانب من التقنية الحيوية حديثة نسبياً، وأعتقد أننا لا نملك نمطاً متسقاً للتطورات الواقعة في هذا المجال يمكننا من التنبؤ بدقة باستخداماتها التجارية في المستقبل. ولكن، علاوةً على الإنتاج المستدام لكميات ضخمة من المواد، فإن استخدام كميات ضئيلة من المواد بدلاً من كميات ضخمة من المواد التقليدية لتحقيق الغاية نفسها يعد هدفاً جديراً بالاهتمام في المستقبل المستدام الذي نسعى لتحقيقه. وقد تجد هذه المواد طريقها إلى الإلكترونيات والطلاءات الخارجية وأجهزة الاستشعار والتطبيقات الطبية الحيوية، وقد تظهر في الأعوام العشرة المقبلة. وسيكون لها دورها في عملية "إزالة الصفة المادية" عن مجتمعاتنا وستتحقق عندما نتعلم سبل الاستفادة من الموارد المتجددة في إنتاج كميات ضخمة من المواد الكيميائية والمواد الأخرى.

وفي رأيي أننا نقف الآن عند عتبة مرحلة مثيرة للاهتمام في تاريخ البشرية. فمن الواضح أن التقنية الحيوية ستهيمن على الساحة، وهناك عشرات التطبيقات التي هي قيد الدراسة والتطوير والتي ستخلق حقائق تجارية جديدة في القريب العاجل. ومن أهم القوى المؤثرة الآن التقاء العلوم والمباحث العلمية في حل المشكلات الماثلة أمامنا. ولطالما عرفنا قيمة التقاء العلوم وناقشناها، وإنني أرى من خبرتي العملية في مجال علم الأحياء أن هذا يحدث بالفعل. وفي الواقع فإن الكثير من أدوات التقنية الحيوية المعاصرة – مثل تسلسل الدنا – إنما تحقق بفضل التقاء العلوم والمباحث العلمية المختلفة. واليوم يتعاون علماء ومهندسون، من خلفيات مختلفة وبمفاهيم مختلفة ونظرة مختلفة، في الساحة التقنية الممتدة. والمهمة صعبة وشاقة، ومن يفهمها ويتقنها فسيحقق لنفسه السبق. لقد عرضنا أمثلة على التقاء العلوم، كدور علم الفيزياء وعلم الأحياء وعلوم المواد في تحديد محصلة تجربة ما، وسنرى الكثير من هذا القبيل في المستقبل.

وسيكون لدينا أمثلة على منهجيات ذات مركزية تقنية ـ حيوية في مساعينا لإنتاج مواد صناعية. كما سيكون لدينا أمثلة على منهجيات ذات مركزية مادية وهي مكتفية بحد أدنى - وإن كان حاسماً - من المدخلات البيولوجية. وستواصل التقنية الحيوية طريقها المبنية على إنتاج مواد بكميات أقل وقيمة أعلى، ولكن مع مرور الوقت وتطبيق منهجيات قائمة على علوم عدة فإننا ستتمكن من إنتاج مواد بكميات أكبر وقيمة أقل. وفي المستقبل، سنتعلم سبل الاستفادة من دروس علم الأحياء في إنتاج مواد جديدة متقنة في تصميمها انطلاقاً من مبادئ بيولوجية. ومعظم هذه التطورات سيقودنا إلى عمليات أقل تكلفة، وأكثر ملاءمة للبيئة، ومن ثم أكثر استدامة.

تبدو وتيرة التقدم في استخدام التقنية الحيوية في إنتاج مواد متسارعة إلى حد بعيد، ونحن الآن بصدد تطوير منهجية قائمة على علوم متعددة لحل عدد من مشكلات المواد. وانطلاقاً من وتيرة التطورات المتلاحقة، فإنه في غضون عشرين عاماً من الآن ستكون التقنية الحيوية قد احتلت مكانة مهمة في صناعة المواد، ولن يكون حينئذ من المناسب حتماً أن نتحدث عن "التقنية الحيوية ومستقبل المواد". وعندما يحدث هذا، فإن مجتمعاتنا البشرية ستكون قد قطعت خطوات مهمة نحو ضمان مستقبل مستدام.

الفصل التاسع

التقنية الحيوية والصناعة الزراعية في المستقبل

راي جولدبيرج

تشهد المنظومة الزراعية والغذائية العالمية تحولات شاملة بفعل الإنجازات المتلاحقة في مجال التقنية الحيوية. وفي هذا الفصل سنلقي الضوء على رؤية المستهلكين للجوانب الإيجابية والسلبية للمحاصيل والحيوانات المعدَّلة وراثياً، كما سنناقش فيه تأثير التقنية الحيوية في العالم الثالث وعلاقتها بالاقتصاد العالمي.

تزداد أهمية الشركات الزراعية المتعددة الجنسيات، والمؤسسات البحثية الحكومية، والهيئات الدولية يوماً بعد آخر خاصة وأن جهود الأبحاث والتطوير الرامية إلى زراعة محاصيل جديدة مقاومة ذات إنتاجية عالية وقيمة مضافة فائقة تتطلب تمويلاً ضخماً. وتصب الشركات الزراعية الكبرى اهتمامها على اكتشاف الجينات، ورسم الخريطة الجينية، ووضع التسلسل الجيني للإنسان والنباتات والحيوانات والكائنات المُمْرِضة من جراثيم وغيرها، وهي تستثمر أموالاً طائلةً في التقنيات الحيوية الجديدة.وفي الواقع، يبدأ جانب الإمداد في المنظومة الغذائية العالمية الحالية بالأطراف الذين يأتون بالمعلومات الجوهرية في مجالي الكيمياء الحيوية وعلم الجينات. وفي الوقت نفسه، مازال الدور الذي عهدناه للمزارعين يتضاءل شيئاً فشيئاً. ففي عام 1950 بلغت القيمة المضافة للمزارعين في الأعمال الزراعية العالمية نسبة 32٪، غير أنه من المتوقع ألا تتجاوز هذه النسبة 10٪ بحلول عام 2028. أما معالجة الأغذية وتوزيعها فقد شكلا 50٪ من القيمة المضافة في عام 1950 وسيشكلان أكثر من 80٪ بحلول عام 2028. وفي الوقت ذاته، لم تعد مسؤوليات المزارعين محصورة في إنتاج الغذاء والأعلاف والمحاصيل التي تعطينا الألياف والطاقة، بل إن هذا الإنتاج له دوره الآن في إنتاج العقاقير الدوائية. بل تقع على عاتق المزارعين الآن أيضاً مسؤولية إضافية تتمثل في المحافظة على الأرض والموارد المائية مع مراعاة السلامة

البيئية. وبرغم تراجع نصيبه من القيمة المضافة عالمياً، فقد تعززت أهمية المزارع في المنظومة الغذائية وما يُعرف اصطلاحاً باسم المنظومة "الدوائية الزراعية" العالمية.

لقد اصطدمت قدرتنا على رسم الخريطة الجينومية البشرية والنباتية والحيوانية الرامية إلى الارتقاء بالصحة والتغذية والسلامة والبيئة والاقتصاد العالمي بالريبة التي يظهرها أطراف معينون إزاء العلم. ويعبر بعضهم الآن عن مخاوفهم من سلامة المحاصيل المعدلة وراثياً واستخدام التقنية الحيوية الزراعية في الدول النامية. ويبقى الكثير من المستهلكين متشككين من إنجازات العلوم الحيوية، بما في ذلك الأغذية المعدلة وراثياً. غير أن الاختبارات لم تؤكد صحة المخاوف التي عبر عنها بعضهم الآخر إزاء المحاصيل المعدلة وراثياً. لذا قررت هيئة الغذاء والدواء الأمريكية أنه لا حاجة إلى إجراء اختبارات سمومية على الأغذية المعدلة وراثياً.

ومازالت سلامة الإمدادات الغذائية من الأمور التي توليها دول العالم الثالث اهتماماً خاصاً. وقد يجرُّ حظر الأغذية المعدلة وراثياً كارثة على الدول النامية؛ إذ تسهم التقنية الحيوية في إنتاج محاصيل كبرى على رقعة صغرى، وهذا يجعل المحاصيل تفوق حد الكَفاف. ولو أننا أبقينا على طرائق الزراعة التقليدية لاضطررنا عند الحاجة إلى أراض إضافية وتدمير مساحات شاسعة من الغابات. إن ما يُسمى بـ "الثورة الخضراء" لتخفيف وطأة الجوع في العالم – في الحقيقة – إنما يعتمد إلى حد بعيد على إحداث تعديلات جينية في المحاصيل تجعلها تقاوم الظروف المناخية والتُّرْبِيَّة القاسية.

وفي الوقت ذاته، تواجه الدول النامية ضغوطاً من بعض الأسواق (مثل الاتحاد الأوربي) للإحجام عن تطبيق مبادئ التقنية الحيوية المبتكرة، وإلا فإن منتجاتها لن يكون مرحباً بها. ويمكن إيجاز الموقف في جوهره بما يأتي: «إذا أردت أن تبيع منتجاتك لنا فعليك أن تتجنب استخدام الكائنات أو المنتجات المعدَّلة وراثياً».

وفي سياق الثورة الجينية، فإن القضايا التي تؤثر في المنظومة الغذائية العالمية لا تحصر في الإنتاجية، بل تتعداها إلى قضايا البيئة، والتجارة العالمية، والتغذية، وسلامة الأغذية، والصحة، بل الاستقرار السياسي في دول العالم ومناطقه. ومن الأمور الأخرى التي تشغل

المهتمين قضية الوصول إلى التقنية وضوابط الملكية الفكرية. وإذا لم يتحقق الإجماع بشأن هذه القضايا الحاسمة، فإن ذلك يمثل تهديداً للتنمية الاقتصادية في الدول النامية والدول المتقدمة معاً، وفي المحصلة ستقع التبعات المؤلمة للريبة وانعدام الثقة على المزارعين البسطاء الفقراء والمستهلكين من ذوي الدخل المحدود.

التأثيرات العميقة للثورة الجينية

ستحدث الثورة الجينية الناشئة في الاقتصاد العالمي والمجتمع تغيراً جوهرياً يفوق في تأثيره أي حدث في تاريخ البشرية. وستغير الثورة الجينية رؤيتنا لشركاتنا، ومؤسساتنا، وصناعاتنا، كما ستؤثر في مكانتنا والعلاقات التجارية الدولية ومنظومة المستهلكين والموردين وطبيعة الاستثمارات، فضلاً عن تأثيرها في العلاقة بين المؤسسات الخاصة والعامة وغير الربحية والمجتمع.

وتسير الثورة الجينية نحو نقطة التقاء تلتقي عندها صناعات؛ مثل: الغذاء، والدواء، والصحة، والألياف، والطاقة. وقد تمكن العلماء فعلاً من رسم الخريطة الجينومية للبشر، إناثاً وذكوراً، كما تمكنوا من رسم الخريطة الجينومية لكائنات مختلفة؛ منها: ذبابة الفاكهة، وبذرة الخل، والفأر، وحبة الأرز. وفي طور عملية النمو تحتفظ الكائنات الحية – في العادة – بالكثير من جيناتها القديمة، وهذا يعني أن أشكال الحياة، من بشر ونباتات وحيوانات، يملك معظمها بنى جينية ونظماً مناعية متشابهة. إن حقيقة اشتراك الكائنات الحية في بناها الجينية ستقودنا إلى اكتشافات جديدة من شأنها تطوير الصحة والتغذية والسلامة والبيئة وتعزيز التنمية الاقتصادية المجتمعية. وهناك – ثانياً – بعض القضايا المثارة المتعلقة بالمنظومة الغذائية في سياق صناعة علوم الحياة الناشئة، ومنها على سبيل المثال: حدوث كساد زراعي ـ اقتصادي عالمي، وعدم ثقة بعض المستهلكين بالعلوم، والقلق من الخيارات المتاحة للمستهلكين، وحقوق الملكية الفكرية بالنسبة إلى القطاعات العامة والخاصة وغير الربحية، علاوة على القوانين والتشريعات والاختبارات والملصقات التوضيحية الضرورية لحماية المستهلكين والبيئة من المخاطر المحتملة وغير المتوقعة.

وفي ضوء هذه الشكوك، تحدثت إلى كبير الموظفين الإداريين في جامعة هارفارد قبل ثمانية أعوام وطلبت منه أن نشكل لجنة تمثل الجامعة بكلياتها وأقسامها المختلفة وتضم أعضاء من كلية الأعمال، وكلية السياسة، وكلية الصحة العامة، وكلية الطب للتنسيق مع القائمين على السلسلة الغذائية ذات القيمة المضافة، وهي التي تضم جماعات المستهلكين، والمنتجين، وكبار رجال السياسة والأعمال وقيادات شركات التقنية. وكان الهدف من وراء ذلك ضمان أن هذه الثورة الاقتصادية والسياسية والاجتماعية البالغة الأهمية في تاريخ البشرية ستصب في مصلحة المجتمع وستكون ملبية لمتطلباته وتطلعاته، وستهتم قبل كل شيء بتطوير المنظومة الغذائية والمنظومة الدوائية وما يتعلق بهما. ولابد من القيام بذلك بطريقة آمنة وغير مضرة بالبيئة شرط الإسهام في التنمية الاقتصادية العالمية بكل أوجهها وقطاعاتها.

وقد قدم أحد أعضاء جماعة شؤون المستهلكين والقطاعات العلمية والأكاديمية والعامة والخاصة (PAPSAC) إسهاماً مهماً في تقرير أصدرته الأكاديمية الوطنية للعلوم مؤخراً. فقد استعرضت لجنة النباتات المعدلة وراثياً والمحمية من الآفات التابعة للأكاديمية الوطنية للعلوم البيانات العلمية المتعلقة بالمخاطر الصحية والبيئية وسبل استخدام هذه البيانات في العملية التنظيمية. وأوصت اللجنة بإعطاء الأولوية لتطوير طرائق محسنة لتحديد مسببات الحساسية وبواعثها، مع التركيز على الاختبارات الجديدة المتعلقة بجهاز المناعة عند الإنسان. وطالبت اللجنة بضوابط مُحدَّثة لتنسيق الأنشطة الخاصة بتشريعات التقنية الحيوية النباتية التي تتولاها وكالة الحماية البيئية، ووزارة الزراعة الأمريكية، وهيئة الغذاء والدواء الأمريكية. كما أوصت اللجنة بأن تراقب وكالات متخصصة التأثير البيئي للمحاصيل المحمية من الآفات في المدى البعيد؛ لضمان رصد المشكلات التي ربما لم تكشف عنها الاختبارات الأولوية التي تُجرى في مرحلة تسجيل العقاقير والموافقة عليها. وبتعبير آخر، تتطلب أي تقنية جديدة مراقبة متواصلة وطويلة الأمد يقوم بها طرف ثالث على أن تُقترح مخارج لإنقاذ الموقف في حال حدوث أخطاء تقديرية أو أخطاء تنفيذية.

تبعات ثورة علوم الحياة

أولى تبعات ثورة علوم الحياة بروز الحاجة إلى إعادة تعريف حدود منظومة الأعمال الزراعية وتوسيعها، خاصة بعد أن أضحت المنظومة "دوائية زراعية".

الشكل (9-1)

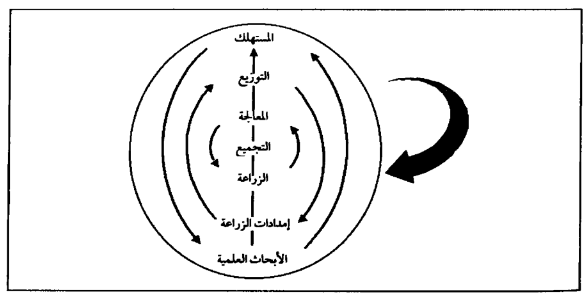
نظم الأعمال الزراعية



المصدر: المؤلف.

الشكل (9-2)

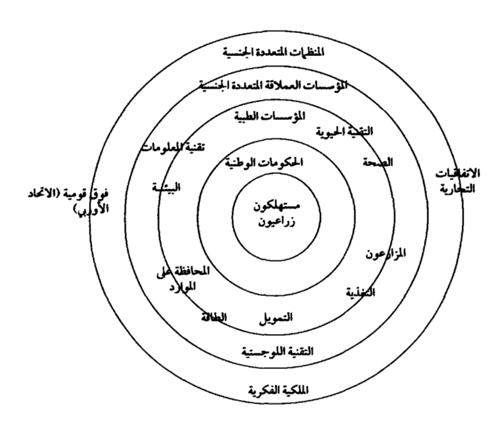
الأعمال الزراعية ـ التحول نحو الدوائية الزراعية



المصدر: المؤلف.

الشكل (9-3)

النظام الدوائي الزراعي العالمي



المصدر: المؤلف.

لابـد أننا لاحظنـا من الأشكـال (9-1) و(9-2) و(9-3) - كما سنلاحظ في الجـدول (9-1) - أن منظومة الأعمال الزراعية التقليدية - في معزل عن العقاقير الدوائيـة والـصحة وعلوم الحياة - ستشكل صناعة عالمية قيمتها ثمانية تريليونات دولار أمريكي بحلول عـام 2028. أما القيمة المضافة لقطاع الزراعة فستتناقص مـن 32٪ في عـام 1950 إلى 10٪ عـام 2028. ولا يعني هـذا التوجـه أن المـزارعين لم تَعُـد لهـم أي أهميـة؛ إذ إن لهـم أهميـتهم في إحداث التغيير في المنظومة الغذائية، وسيحدثون إجراءات خاصة بهـم ومنتجـات يمكـن تتبعها كما أنهم سيوفرون خيارات كبرى للمـستهلكين. وعـلى حـين أن معالجـة الأطعمـة وتوزيعها قد مثّلا نصف القيمة المضافة خلال خمسينيات القـرن المنـصرم فـإنهما سـيمثلان أكثر من 80٪ من القيمة المضافة عام 2028.

الجدول (9-1)

القيمة المضافة في الأعمال الزراعية العالمية: التحول نحو المنتجات النهائية بين الأعوام 1950 و2000 و2028 (بمليارات الدولارات)

	1950			2000			2028		
	السوق	القيمة المضافة	٪	السوق	القيمة المضافة	٪	السوق	القيمة المضافة	٪
إمدادات غذائية	44	44	18٪	520	520	13٪	720	720	9٪
الزراعة	125	81	32٪	1,120	600	15٪	1,520	800	10٪
معالجة الأغذية والتوزيع	250	125	50٪	4,000	2,880	72٪	8,000	6,480	81٪
المجموع	419	250	100٪	5,640	4,000	100٪	10,240	8,000	100٪

المصدر: المؤلف.

إن إضافة الأطراف المعنيين بعلوم الحياة في المنظومة الدوائية الزراعية الجديدة ستزيد القيمة المضافة الإجمالية في عام 2028 إلى أكثر من 15 تريليون دولار أمريكي، بينما ستتراجع حصة المزارعين أكثر فأكثر لتصل إلى 7٪ (انظر الجدول 9-2). هذه المنظومة الدوائية الزراعية الجديدة تبدو أكثر تعقيداً. إذ يتفاعل نظام المناعة في الإنسان والحيوانات والنباتات مع بعضه بعضاً ومع البيئة المشتركة لاحقاً. وقد أنشئت مؤسسات لمعالجة هذه المنظومة العالمية المعقدة وهي عالمية في طبيعتها أيضاً ومنها - على سبيل المثال - كودكس ألِيمنتاريوس (Alimentarius Codex).

الجدول (9-2)

المنظومة الزراعية الدوائية العالمية في عام 2028 (مليارات الدولارات)

	القيمة المضافة	النسبة المئوية
شركات علوم الحياة والإمدادات الزراعية	1,400	9٪
الزراعة	1,000	7٪
معالجة الأغذية وتوزيعها	12,960	84٪
	15,360	100٪

المصدر: بحسب تقديرات المؤلف وهي مبنية على بيانات مأخوذة من وزارة الزراعة ووزارة التجارة في الولايات المتحدة الأمريكية.

أما التبعة الثانية للثورة الجينية فهي أنها ستؤدي إلى تغير رؤيتنا لسبل تقويم المنافع المحتملة للأطراف المشاركين في المنظومة والمجتمع اللذين يخدمونها، فهل نتقاسم المنافع المتحققة من تراجع التكلفة؟ وكيف لنا أن نتقاسم المنفعة المتحققة من تحسن الظروف الصحية أو حتى نقوِّمها، ومن ثم إطالة عمر المستهلكين؟ وقد حاولت الصناعة تقليدياً أن تعطي معظم الفوائد المتحققة على المستوى الإنتاجي للمنتجين. وبالمثل، ومن خلال عمل القوى المتنافسة، آلت النسبة الغالبة من التوفير في التكلفة وتحسن المنتجات إلى المستهلكين. وفي إعادة تشكيل الصناعة، دُفعت مبالغ طائلة إلى الشركات التي نفذت إلى الجِبْلَة الجرثومية أو اشتركت في وضع التسلسل الجيني. هذه الاستثمارات معناها أن الشركات قد ربطت مستقبلها برمته بمستقبل علوم الحياة ونبوءاتها، وكأن شركات التقنية الحيوية قد قُدِّر عليها أن تربط مصيرها بمصير هذه التقنية. هذه المنظومة الجديدة ضخمة؛ من حيث إنها توظف نحو 50٪ من القوة العاملة في العالم، وتستحوذ على 50٪ من الأصول العالمية، وتستأثر بنحو 40٪ من إجمالي إنفاق المستهلكين. وفي الوقت نفسه، نجد أنها صغيرة من حيث الاندماجات والشراكات بين الشركات التي قللت نقاط اتخاذ القرار ضمن هذه المنظومة.

أما التبعة الثالثة لثورة علوم الحياة فهي صعوبة الوصول إلى طرف ثالث يتصف بالحياد لمراقبة أثر التقنية في البيئة وصحة المستهلكين وسلامتهم وتقويمه. فالتقنية تساعدنا في أمور عدة؛ منها: ابتكار طرائق جديدة للتقليل من التلوث، وتقويم أثر السياسات والإجراءات البديلة في البيئة بطريقة دقيقة. وقد شجعت بعض الصناعات بالفعل؛ مثل: صناعة الخشب والورق، تولي طرف ثالث تقويم تأثير سياساتها في البيئة، ومنه ما قام به المعهد الدولي للبيئة والتنمية. ويتعين على الصناعات كافة أن تطوِّر سياسات وإجراءات مماثلة لمواجهة المخاوف المسوغة التي أثارتها الجماعات الناشطة في مجال البيئة وحقوق المستهلك. ويُعدّ مثال صناعة الخشب والأوراق الذي ذكرناه آنفا مثالاً رائعاً في هذا السياق.

التبعة الرابعة لثورة علوم الحياة هي احتمال أن يسيء أطراف معينون استغلالها فيفرضوا قيوداً تجاريةً معينةً عليها في شكل "إجراءات احترازية أو وقائية" أو ما يُعرف بـ "العقبة الرابعة".

التبعة الخامسة أن التقنية يمكن استغلالها لتكون سلاحاً في مواجهة كل القيم الأخلاقية المشتركة في المجتمعات البشرية كافة.

التبعة السادسة أن حركة براءات الاختراع النشيطة والمسجلة في مجال الجينات والحيوانات والنباتات ستشجع قيام شبكات وشراكات وترخيصات عابرة ستمكن كل الشركات من الوصول إلى هذه الثروة الفكرية القيمة الناشئة أو امتلاكها، وستمكن بعض الشركات من امتلاك هذه الثروة الفكرية القيمة الناشئة. وستتخطى هذه الشبكات الحدود التقليدية للصناعة. وفي الوقت الذي يتم فيه تطوير آلاف المُركَّبات والعمليات سنوياً، فإن شركة عاملة في صناعة ما قد تتمكن من اكتشاف حل لمشكلة شغلت شركة عاملة في صناعة مختلفة تماماً طوال عقود.

التبعة السابعة هي الاعتراف بأن الشركات التي تنفق أموالاً طائلةً على البحث والتطوير محتاجة إلى حقوق ملكية فكرية تمكنها من تحقيق عائدات مرضية على استثماراتها. وفي الوقت نفسه، لابد من دراسة قضية الوصول إلى التقنية. ومن السبل المحتملة في معالجة هذه القضية ما رأيناه في الاتفاقية المبرمة بين معاهد الصحة الوطنية في الولايات المتحدة الأمريكية وشركة دوبونت (E.I. DuPont de Nemours and Co.) في ويلمنغتون بولاية ديلاوير الأمريكية. فبدءاً من 1 كانون الثاني/ يناير 2000 أضحى بإمكان العلماء الذين تمولهم معاهد الصحة الوطنية لإجراء أبحاث ذات طبيعة غير تجارية أن يستخدموا الحيوانات المهجنة جينياً والمحمية ببراءة اختراع من دون الحصول على موافقة معينة من شركة دوبونت (DuPont). يضاف إلى ذلك ما تم مؤخراً حين أفرجت شركة مونسانتو (Monsanto) عن الخريطة الجينومية للأرز، وهو أمر سيعزز دراسات البنك الدولي ومركز الحبوب التابع لمؤسسة روكيفيلر (Rockefeller) في أرجاء العالم. ولابد أن تستفيد الأمم الفقيرة من منافع الهندسة الجينية. وقد أشار د. جوردون كونوي (Gordon Conway) رئيس مؤسسة روكيفيلر أنه من دون الهندسة الحيوية لن يكون في وسع دول العالم الثالث أن تطعم الأعداد المتنامية من السكان.[1] وفي الماضي تبادلت شركات الحبوب والشركات الدوائية المعلومات حول التقنيات الجديدة مع المؤسسات العامة وغير الربحية. ومن المتوقع أن تستمر هذه العملية وسيتوصل قطاعا المؤسسات العامة والمؤسسات غير الربحية إلى الكثير من الاختراعات فضلاً عما سيتوصل إليه القطاع الخاص.

التبعة الثامنة هي أن التقنية الجديدة ستقودنا نحو إنتاج محاصيل وثروة حيوانية ذات هوية محددة؛ وذلك ضمن منظومتي إنتاج وتوزيع يمكن تتبعها وتقصيها. وهذا بدوره

سيشجع على إنشاء مؤسسات جديدة لتزويدنا بملصقات عالمية مشتركة خاصة بالأغذية وتقديم تعريفات مشتركة لما هو طبيعي ولما هو غير ذلك، وطرح نظام مقبول على نطاق واسع لتتبع المنتجات وتقصيها، علاوة على فرض الغرامات والعقوبات التأديبية على الأطراف الذين يسيئون استغلال النظام. وتُعدّ مؤسسة كودكس أليمنتاريوس نموذجاً رائعاً في المستقبل.[2]

التبعة التاسعة هي تأثير علوم الحياة في رؤيتنا لما نفعله ورؤيتنا طريقة فعله. لقد تغيرت طبيعة مهمة كل المشاركين والمساهين في المنظومة، وهذا ما نشير إليه في الشكل (9-4).

الشكل (9-4)

إعادة تعريف الوظائف

1. أضحى المزارع معنياً بإدارة التقنية والموارد.
2. أضحى الأطراف المزودون بالحبوب والأعلاف والميكنة مختصين بعلوم الحياة.
3. أضحى الأطراف المعالجون للسلع هم الأطراف الذين يزودوننا بالمكوِّنات.
4. أضحى الأطراف المزودون بالأطعمة والمشروبات وهي الأصناف المعروفة ذاتها معنيين بالتغذية والمذاق.
5. أضحى الأطراف الموزعون مدافعين عن المستهلكين ومزودين بشبكات المعلومات.
6. أضحت الحكومات أشبه بالشركات من حيث إنها متعددة الجنسيات ومتعددة الإدارات.
7. أضحت المنظومة الغذائية نموذجاً مثالياً للاستجابة لاحتياجات التنمية الاقتصادية في المجتمع.

المصدر: المؤلف.

لقد أضحت شركات إمداد المزارع شركات علوم حياة، كما أضحى المزارع – سواء من يزرع على نطاق واسع أو من يزرع على نطاق محدود – قيِّماً أو مشرفاً على أرضه وموارد المياه فيها، ومنفذاً للتقنيات الجينية (ونقصد بها التقنية التي تقلل تكلفة الأغذية والألياف والوقود والعقاقير الدوائية المنتجة من الحيوانات أو النباتات). كما أضحى المزارع يقدم قيمة مضافة في مجال الصحة والتغذية بطريقة من شأنها أن تقلل من التلوث وتعزز الاستدامة البعيدة المدى. كما يُتوقع من المزارع أيضاً أن يدير عمله بطريقة تراعي تنوع الجِبْلَة الجرثومية والحياة الطبيعية. وأما المُنتِج على نطاق ضيق - وهو الذي يحقق معظم دخله من أنشطة بعيدة عن الزراعة – فسيكون قيماً على الحياة الريفية والمجتمع الريفي. وهما أمران مهمان لاستمرار نظمنا القِيَمِيَّة. وفي مقابل إتقانه للتقنية واستخداماتها، سيصبح المزارع شريكاً تعاقدياً في المنظومة الزراعية، مع التأكد من وجود آلية ملائمة للمحافظة على الدخل في ضوء التقلبات العالمية السِّعرية والإنتاجية على مستوى المزرعة.

أما المُجَمِّع في المنظومة الزراعية ـ الغذائية فقد أضحى قيماً على منتجات ذات هوية معينة، ومتتبعاً ومتعقباً لموارد السلسلة الغذائية، ومتأكداً من سلامتها. وأما المعالِجُ فهو من يطور منتجات غذائية ذات علامة تجارية معينة، ومنتجات دوائية ذات علامة تجارية أو تلك غير المسجلة تجارياً؛ ولا يحصر دوره في تقديم البيانات السُّعْرِيَّة بل في تقديم البدائل الصحية والغذائية. إن إنتاج عقاقير دوائية في قطيع من الماعز أو في محاصيل زراعية معينة يعطينا بديلاً منخفض التكلفة من الاستثمارات الضخمة في النباتات والمعدات. غير أن هذا النمط من الإنتاج يحتاج أيضاً إلى ضوابط معينة تحول دون دخول هذه الحيوانات السلسلة الغذائية العامة. ويصبح الموزع شريكاً للمستهلك فهو يعمل الآن في شراكة مع المستشفيات والمؤسسات الصحية لتقديم أغذية نادرة من شأنها أن تضبط الأمراض وتعالجها، كما أنه يهتم بالارتقاء بتغذية العامة وصحتهم.

وتتطلب هذه الأنشطة كافة شراكة وثيقة بين أصحاب القرار في القطاعين العام والخاص، ولاسيما بين الشركات والجهات المشرعة، كما أنها تتطلب مشاركة الجماعات المعنية بحقوق المستهلكين. وعلاوةً على ذلك، يتطلب صنع القرارات الوطنية آلية محاسبة معقدة قادرة على تقويم فاعلية قطاعات المنظومة الزراعية المختلفة وتقدمها وتحديد المستوى التقريبي لمشاركة كل شركة في المنظومة الزراعية ـ الغذائية. وعلينا أن نتذكر أن المنظومة "الدوائية الزراعية" ستبقى معنا، وعلينا أن نفهمها لنحسن تنظيمها واستغلالها. لقد مثل علم الجينات في السابق نحو 56٪ من العائد النهائي، وسيسهم علم الجينات في المستقبل في إنتاج نظام غذائي مطور للإنسان والحيوان معاً، كما سيسهم بأكثر من 50٪ في إطالة أعمارنا؛ لذا، يبدو ضرورياً أن نتفاعل مع الجماعات المعنية بحقوق المستهلكين وغيرها من أجل أن نواصل تطوير هذه التقنية المهمة، وكذلك تطوير مواردنا البشرية والطبيعية بطريقة عادلة غير مستنزفة. ويتعين علينا – نحن بني البشر – أن نجدد مواردنا ومؤسساتنا، وقبل هذا وذاك، أنفسنا.

أما التبعة العاشرة لثورة التقنية الحيوية فهي نظرة المستهلكين في الولايات المتحدة الأمريكية إلى ثورة التقنية الحيوية. يبدو واضحاً من الجدول (9-3) والجدول (9-4) أن قضايا سلامة الأغذية ووضع ملصقات على الأغذية تبين المكونات وتبين استخدام المبيدات أو عدمه أكثر أهمية عند المستهلك الأمريكي من وضع ملصقات تبين احتمال كون الأغذية معدلة وراثياً.

الجدول (9-3)

المنظومة الدوائية الزراعية العالمية في عام 2028 (مليارات الدولارات)

01	السلامة الغذائية	٪24
02	المكوِّنات	٪20
03	السعرات الحرارية الدهنية ـ السكرية	٪14
04	استخدام المبيدات الحشرية	٪12
05	أطعمة مُعدَّلة وراثياً	٪4

المصدر: Alliance for Better Foods.

الجدول (9-4)

أنشطة أخرى للمستهلكين الأمريكيين

01	٪71 يعرفون الأطعمة المهندسة حيوياً
02	٪17 ـ ٪24 قلقون من الأطعمة المهندسة حيوياً

المصدر: Alliance for Better Foods.

ونلاحظ من الشكل (9-5) أن الأوربيين يهتمون بملصقات الأغذية التي تشير إلى وجود مكونات معدلة وراثياً مقابل الملصقات التي تشير إلى الأغذية الطبيعية أكثر من اهتمامهم بأي قضية من قضايا السلامة الغذائية.

الجدول (9-5)

نتائج استطلاع الرأي حول قضايا السلامة الغذائية

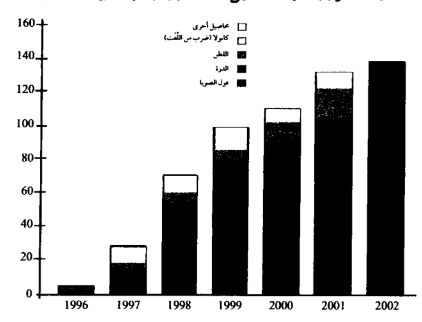
القضية	النسبة المئوية
سلامة الأغذية	٪68
عدم استعمال المبيدات	٪54
عدم استعمال الهرمونات	٪56
أغذية "عضوية" من دون مبيدات كيميائية	٪81
الإشارة عند اعتماد التقنية الحيوية على ملصقات الأغذية	٪86
ملصقات «خالية من المواد المعدلة جينيا»	٪77

المصدر: Eurobarometre 49.

ويبدو واضحاً من الشكل (5-9) تسارع اعتماد دول العالم لمحاصيل التقنية الحيوية. وفي عام 2003 قالت الوكالة العالمية لتملك تطبيقات التقنية الحيوية الزراعية في تقرير لها إن 6 ملايين مزارع في 16 دولة قد زرعوا بالفعل حبوباً معدلة وراثياً على مساحة تُقدر بنحو 145 مليون فدان، بزيادة قدرها 10٪ على ما كان عليه الأمر عام 2001. وأشارت الوكالة في تقريرها إلى أن قيمة المحاصيل المهندسة حيوياً ستصل إلى 5 مليارات دولار أمريكي بحلول عام 2005 مقارنةً مع 4.25 مليارات دولار أمريكي عام 2002.[3]

الشكل (5-9)

الهكتارات المزروعة بمحاصيل معدلة وراثياً (بملايين الهكتارات)



ملاحظات. تسارعت وتيرة تبني دول العالم للمحاصيل المعدلة وراثياً. ويُقدر أن 5.5 ملايين مزارع زرعوا محاصيل معدلة وراثياً عام 2001 (أي إن أكثر من 75٪ منهم من دول فقيرة في مواردها الطبيعية).

- لقد تضاعفت المناطق المزروعة بمحاصيل معدلة وراثياً أكثر من 30 مرة منذ عام 1996.
- هناك 13 دولة تزرع محاصيل معدلة وراثياً في العالم.
- نمت مساحة الأراضي المزروعة عام 2001 بنسبة 18 ٪.
- من المتوقع أن يتواصل النمو عام 2002.
- حصص المحاصيل المعدلة وراثياً من الأراضي الزراعية:

	العالم	الولايات المتحدة الأمريكية
فول الصويا	٪ 46	٪ 74
القطن	٪ 20	٪ 76
كانولا (ضرب من اللّفت)	٪11	٪67
الذرة	٪7	٪27

المصدر: 1999، 2000، 2001، 2002: US Department of Agriculture and Monsanto estimates.

خاتمة

يمكننا أن نوجز أهم القضايا التي ناقشناها في هذا الفصل بما يأتي:

- عرفنا الكائنات المعدَّلة وراثياً منذ أن فازت باربارا مكلينتـوك (McClintock Barbara) بجائزة نوبل بفضل اكتشافها لما يُعرف بالجينات النَّطَّاطة (genes jumping).
- تعرض بنو البشر والنباتات والحيوانات كافة لتعـديلات جينيـة بـشكل أو بـآخر مـع مرور الوقت.
- بعض القضايا البيئية المثارة حول شركات مثل بروديجين (Prodigene) (شركة تقنيـة حيوية خاصة تُعدُّ رائدةً في مجال إنتاج بروتينات متأشـبة مـن نباتـات مهجنـة جينيـاً) وقضية ستارلينك (StarLink) (نوع من الذرة المعدَّلة وراثياً التي سببت تلوثاً غذائياً) تشير إلى أنه ليس هناك منتجات خالية مـن المـواد المعدّلـة وراثيـاً بنـسبة تامـة. وهنـا نتساءل: ما معايير المنتجات الخالية من المواد المعدلـة وراثيـاً؟ أو مـا النـسب المقبولـة منها؟
- معظم النقد الموجه إلى علم ما، إنـما هـو في حقيقـة الأمـر نقـد موجـه إلى المؤسـسات الرائدة فيه. والقضية هنا هي قضية ثقة، ثقتنـا في القطـاع الخـاص، وثقتنـا في القطـاع العام، وثقتنا في العلماء أنفسهم.
- مع ضمان حماية الملكية الفكرية، تبقى قضية مهمة مثارة وهي قضية من يحق له أن ينفذ إلى التقنية؟
- يُعد دور المؤسسة العالمية لحماية الطبيعة في حماية التنوع الحيوي والجِبْلَة الجرثومية دوراً مهماً جداً.[4]
- يريد المستهلكون أن يكون لهم قول في القرار وهم يـستحقون ذلـك. وسـيتم وضـع ملصقات الأغذية تحت قيادة المؤسسة العالمية كودكس أليمنتاريوس.
- الثورة الجينية ثورة عالمية، وليست ثورة محلية بأي شكل من الأشكال.

- حاجة الدول النامية إلى التقنية لا تقل بأي حال من الأحوال عن حاجة الدول المتقدمة إليها، بل قد تفوقها أحياناً، نظراً إلى حاجتها إلى التكيف مع الظروف المناخية الصعبة والقاسية، علاوةً على احتياجات الزراعة المحدودة المدى.
- يجب أن تدعم الأكاديميات الوطنية للعلوم في الدول النامية والدول المتقدمة معاً، العلوم شرط أن تفرض الضوابط الضرورية.
- الاندماجات التعاقدية ستؤدي إلى إنتاج محاصيل ذات هوية، سواء كانت المحاصيل معدلة وراثياً أو غير معدلة.
- تُعد كودكس أليِنتاريوس نموذجاً لمؤسسات المنظومة الدوائية الزراعية، ويُعدّ رئيسها ألان راندل (Allan Randall) نموذجاً يُحتذى في الإدارة.
- نحن محتاجون إلى قيادة جديدة في القطاعين العام والخاص؛ من أجل المضي قدماً والتغلب على الريبة التي لازمتنا في الماضي.
- يتعين على الشركات الخاصة والشركات العامة والتعاونيات الزراعية والمؤسسات غير الربحية والمستهلكين - أخيراً - أن يعملوا معاً في المستقبل؛ للاستفادة من كل الفرص الممكنة التي تخلقها الثورة الجينية أولاً، وصوغ القوانين والتشريعات والإجراءات الضرورية وفرض الرقابة اللازمة لحماية المجتمع من أي مشكلات غير متوقعة.



القسم الخامس

التقنية الحيوية والصحة

الفصل العاشر

التقنية الحيوية ومستقبل الطب

جريجوري ستوك*

من أجل أن نفهم تأثير إنجازات التقنية الحيوية المتلاحقة ودورها في تغيير طبيعة الطب وممارساته، علينا في البداية أن نعود إلى الوراء لنلقي نظرة على التحولات الواسعة الناجمة عن اتساع فهمنا شيئاً فشيئاً للحياة وأسرارها. وليس ما يشغلنا هنا هو توصلنا إلى عقاقير دوائية مثلى، أو تشخيصات مُطوَّرة، أو علاجات مُحسَّنة لعلل وأمراض معينة. فهذا كله يتفق مع الغاية النبيلة للطب، والمتمثلة في علاج المرضى والحد من معاناتهم. أما التحديات الحقيقية فمصدرها التطورات التي تهدد الطبيعة الجوهرية للطب؛ من حيث إنها تخلق حدوداً ضبابيةً بين المعالجة والترفيه، وبين الوقاية والمعالجة، وبين الحاجة والرغبة؛ ومن حيث إنها تغير الطبيعة التقليدية بين الطبيب ومريضه؛ ومن حيث إنها - كذلك - تغير رؤيتنا إلى أنفسنا؛ وأخيراً من حيث إنها تغير مسار الحياة البشرية برمته. وتقف هذه التحديات المذهلة أمامنا ونحن نواصل طريقنا في كشف الأسرار الخفية للحياة.

إن توقع حدوث مثل هذه التطورات والتحولات ليس أمراً جديداً. ففي عام 1780 علَّق بنجامين فرانكلين (Benjamin Franklin) في رسالة وجهها إلى صديقه الكيميائي البريطاني الشهير جوزيف بريستلي (Joseph Priestley) قائلاً:

> عندما أرى هذه التطورات العلمية السريعة أشعر بشيء من الأسى أحياناً من أنني وُلدت وعشت في هذه المرحلة. فمن الصعب أن نتخيل مدى تفوق الإنسان على المادة في غضون ألف عام من الآن.

---

* يوضح المؤلف الموضوعات التي أثيرت في هذا الفصل بشكل كامل في كتابه:
Redesigning Humans: Our Inevitable Genetic Future (Boston, MA: Houghton Mifflin, 2002).

أما الآن وبعد مرور ما يزيد على قرنين من الزمان على مقولة فرانكلين فحسب، أضحت وتيرة التطورات العلمية سريعة جداً، حتى إن الاحتمالات الآنية مذهلة إلى حدّ أن توقعات فرانكلين تبدو متواضعة أمامها.

وتبدو الثورة الجينومية رمزاً إلى الكثير من التقنيات الجديدة في مبحثي: الأحياء الجزيئي، والطب الحيوي، هذه التقنيات من المتوقع أن تحملنا إلى آفاق نعدُّها الآن خيالاً محضاً فقط. وسيغير هذان المبحثان معاً الطب، بل الطبيعة البشرية ذاتها. وقبل أن نتطرق إلى هذه الاحتمالات غير المسبوقة، دعونا نستعرض بعض المعضلات التي ستنجم عن التقاء التقنية الفائقة بالطب في العقود القليلة المقبلة.

فمع تقدم الطب الحيوي وتتابع إنجازاته، سيعزز نفوذنا في مجالات كانت ذات يوم خارج سيطرتنا. ولا يعني ذلك بطبيعة الحال أن كل شيء سيكون ممكناً، غير أن القدرات التشخيصية والعلاجية التي يتردد اسمها اليوم بين حين وآخر، ستسود غداً، وستجلب معها معرفةً ليست هينةً، وستفرض علينا خياراتٍ صعبةً وتنازلاتٍ مؤلمةً. فهل نريد حقاً أن نعرف من جيناتنا احتمال أننا مهددون بالإصابة بداء ألزهايمر أو مرض القلب؟ وهل نحن مستعدون حقاً لنقرر سحب مريض هو أقرب إلى الموت من على جهاز الإعاشة؟ وهل نحن مستعدون حقاً لأن ننفق أموالاً طائلة من مخصصات التأمين الصحي لتوفير رعاية على مدار الساعة لخديج عُمره 26 أسبوعاً ولا يتجاوز وزنه الرطلين؟ وهل سنسعى حقاً لحظر استخدام الأجنة البشرية لزراعة أنسجة لمرضى بالغين؟ وما المعايير التي سنعتمدها لاختيار مريض من بين مرضى كثر يتنافسون على قلب واحد مُعد لزراعته في جوف أحدهم؟ وهل سنسعى لتحديد عُمْر معين يحظر بعده على المرأة (وربما الرجل) الاستفادة من التقنيات التكاثرية المتقدمة؟ وهل سيكون بوسع الوالدين أن يختارا جنس أبنائهما، وربما أمزجتهم وشخصياتهم؟

الأسئلة الجوهرية هنا بسيطة: من سيدفع؟ ومن سيقرر؟ ومَنْ مِنْ حقِّه أن يَطَّلع على المعلومات الصحية؟ وما الإجراءات المقبولة؟ وما المخاطر المرفوضة؟ وما الدور المفترض لرأس المال والإعلان في الرعاية الصحية؟ وما تأثير الدين ومؤسسة الحكم في خياراتنا الطبية الفردية؟ وبرغم بساطة هذه الأسئلة، فإن الإجابة عليها لن تكون أمراً هيناً.

ومهما كانت الطريق التي سنسلكها نحو الغد، فإننا سنلقى نجاحات وإخفاقات معاً. فهناك من سيتألم، وهناك من سَيَسْلَم. وهناك من سيسيء استغلال التقنيات الناشئة، وهناك من سيستعين بها بحكمة. وهناك من سيقول: إننا استعجلنا أمرنا وعلينا أن نخفف خطواتنا، وهناك من سيقول: إننا توانينا وعلينا أن نعجل خطواتنا. ولن يتحقق إجماع بشأن خطواتنا اللاحقة، وستتباين رؤيتنا إلى هذه التقنيات، فمنا من سيراها نعمة، ومنا من سيراها نقمة مرعبة.

تأثير الثورة الجينومية

من أجل أن نفهم مسار الطب نحو الغد، يتعين علينا – في البداية – أن نفهم عُمق الثورة الجينومية الراهنة. ففي صيف عام 2000 أعلن العالمان كريج فينتر (Craig Venter) وفرانسيس كولينز (Francis Collins) عن نجاحهما في وضع تسلسل أولي للجينوم البشري[1] – وهو يمثل المجموعة الجينة البشرية المتكاملة – فغالى بعض العلماء في وصف ما حدث. وفي سعيهم إلى التعبير عن ضخامة هذا الحدث لجأ بعضهم الآخر أحياناً إلى الاستعارة الدينية، برغم أن الكثير منهم غير متدينين في الأصل. ونشرت الدوريات عشرات المقالات التي وصفت ما حدث، ومنها ما قال: إن العلماء حلوا "شفرة الشفرات"، ومنها ما قال: إننا قرأنا "كتاب الحياة"، أو عثرنا على "الكتاب المقدس لعلم الأحياء". هذه الحماسة تذكرنا بالضجة التي ملأت الدنيا عام 1969 عندما وطأت قدم نيل آرمسترونج سطح القمر، وهذا جعلنا نظن أننا سنبحر بين النجوم. أما الآن وقد أضحى عام 2001 وراءنا، فإننا لم نَرَ حتى الآن الحاسوب الخارق الذي ظهر في فيلم "2001: أوديسة الفضاء" (2001: Space Odyssey) للمخرج الشهير ستانلي كيبريك (Stanley Kubrick). بل إننا لم نبدأ أوديسَتنا إلى قمرنا، فما بالك بأقمار كوكب مثل المشتري مثلاً؟

ويبدو معقولاً أن نتساءل: ما الذي سيحدث بعد ثلاثين عاماً من الآن، عندما تهدأ الضجة الحالية حول الثورة الجينية؟ وهل سننظر نحن، أو ربما أبناؤنا، إلى الوراء بالطريقة

نفسها، مُبدِّدين آمالنا بشأن الثورة الجينومية التي قد يثبت أنها كانت شطحة خيال لا أكثر، وأنها لم توصلنا إلى شيء، ولم تغير شيئاً في الطب أو الطبيعة البشرية؟

يبدو هذا السيناريو غير مُرجَّح. فخلافاً للفضاء، تُعدُّ الجينات جزءاً جوهرياً من كياننا. وعندما نتعلم أن نعدِّل جيناتنا وأوجهاً من علم الأحياء، فإننا نتعلم أيضاً سبل تعديل أنفسنا. إن قدرة التقنية على إحداث تغييرات عميقة في حياتنا لا تخفى على أحد، خاصة وأنها أعادت بالفعل تشكيل العالم من حولنا إلى حد بعيد. فهناك - على سبيل المثال - بون شاسع بين البنى الفولاذية والزجاجية والأسمنتية المسامية في نيويورك وهونج كونج وأبوظبي وبين البنى المرضوضة التي عرفها أسلافنا في العصر الجيولوجي الحديث الأقرب، وقد بلغت التقنية مبلغاً عظيماً في قوتها ودقتها حتى ليمكننا أن نطبقها على أنفسنا. وتبدو المحصلة النهائية واضحةً، ففي نهاية المطاف سنعيد تشكيل أنفسنا إلى حدود بعيدة كما أعدنا تشكيل العالم من حولنا.

الثورة الراهنة في علم الجينومات وعلم الأحياء الجزيئي لن تحدث ثورة في الطب فحسب، بل إنها ستغير معالم اقتصادنا، وطبيعة إنجابنا لأبنائنا، كما ستغير تعاملنا مع مشاعرنا، وربما تطيل أعمارنا. هذه التطورات عميقة إلى الحدِّ الذي سيجبرنا يوماً ما على التساؤل عن طبيعتنا البشرية، وقد يحدث هذا عاجلاً لا آجلاً.

ونشهد الآن تطورين غير مسبوقين، أولهما الثورة السيليكونية التي حققت لنا إنجازات غير مسبوقة، من بينها ظهور الإنترنت والأجهزة الاتصالية والحاسوبية المختلفة التي غيَّرت حياتنا. وجوهرياً، يبدو وكأننا ننفخ حياة في مادة جامدة مثل السيليكون - ذلك الرَّمل الذي تدوسه أقدامنا - لا تقل في تعقيداتها عن الحياة نفسها. هذا الإنجاز مهم جداً، لا في تاريخ البشرية فحسب، بل في تاريخ الحياة نفسها الذي يمتد إلى نحو 3.5 مليارات سنة. وقد يكون من الصعب علينا أن نعيَ أبعاد التحولات التي ستحدثها هذه الثورة، غير أن الحياة على سطح الأرض لن تكون كما كانت أبداً.

أما ثانيهما فهو ثورة التقنية الحيوية التي تُعدُّ امتداداً طبيعياً لسابقتها، وسيكون تأثيرها أكثر عُمقاً؛ لأنها ستجعلنا نسيطر أكثر من أي وقت مضى على علم الأحياء

ومستقبل النشوء. ولسنا هنا بصدد الحديث عن نبوءات أولئك المتحمسين للثورة التقنية التي تحدثت عن عمليات طبية مستقبلية ستحولنا إلى بشر خارقين من لحم وسيليكون، غير أن التقنية الحيوية وما ستحدثه من تغيرات في عِلْمَي: الأحياء، والكيمياء الحيوية سيؤثران فينا، وفي أبنائنا، وأحفادنا أيضاً.

لقد تحقَّق الكثير بالفعل؛ إذ تمكن العلماء من وضع تسلسل كامل تقريباً للمجموعة الجينية البشرية، كما تعرف العلماء على ملايين المُتَخالِفات الجينية الأكثر شيوعاً، وهي تمثل الفروق الجينية الدقيقة التي تجعل كل واحد منا فريداً من الناحية البيولوجية. كما طورنا تقنية رقائق الدَّنا المنخفضة التكلفة لقراءة بنيتنا الجينية ورصد أنماط الترجمة الجينية. كما طورنا تقنيةً حاسوبيةً ومنهجيةً معلوماتيةً حيويةً قادرة على فك شفرة البيانات الجينية المتأتية من وضع التسلسلات الجينية. وإيجازاً، لقد تعرفنا اليوم على جيناتنا، وفهرسنا أنواعها إلى حُزَم ، ولدينا من الأدوات ما يُمَكِّننا من قراءتها بطريقة موسعة، ومن الموارد الحوسبية ما يمكننا من فهم طوفان المعلومات الجينية الذي أوشك على أن يغمر البشرية.

ولكن، وتيرة التقنية هي ما يذهلنا فعلياً. ففي عام 1998 كانت تكلفة رقاقة الدنا القادرة على قراءة نحو 20,000 معلومة دَنَوِيَّة دقيقة نحو 8000 دولار أمريكي، أما اليوم فإن تكلفة الرقاقة القادرة على قراءة نحو 200,000 معلومة دَنَوِيَّة دقيقة أقل من 200 دولار أمريكي. ويتوقع كريج فينتر وآخرون أنه بحلول عام 2007 ستقل تكلفة وضع تسلسل كامل لجينوم أحدنا عن 1000 دولار أمريكي، ومعنى ذلك أنه سيكون في وُسع أحدنا مقابل أقل من 1000 دولار أمريكي أن يعرف مجموعةَ الأشكال المتعددة للنيكليوتيد الواحد (وهو يُعرف باسم SNP) وهي المجموعة التي تكشف تَفَرُّدَ بنيته الجينية. وسنكشف بتعبير آخر في المستقبل القريب أسرار بنيتنا الجينية.[2]

ومن الجهود المهمة المبذولة في هذا السياق ما تقوم به مؤسسة ديكود جنيتيكس (Decode Genetics)؛ حيث يعمد كاري ستيفانسون (Kari Stefansson) إلى دراسة دقيقة للسلالات النسبية والسجلات الصحية لسكان أيسلندة برمتهم، محاولاً إقامة علاقة متبادلة بينها وبين البيانات الجينية لرصد الجينات المُمْرِضة. وعلى صعيد آخر تتم في

سردينيا دراسة الأوجه الوراثية للمئويين المنتشرين في قرى صغيرة عدة عُرِفَت بوجود أعداد ضخمة ممن بلغوا الأعوام المائة أو أكثر. ومن الجهود المثيرة للاهتمام هنا أيضاً عَمل "إيجين" (EGeen) في أستونيا؛ حيث تتم دراسة السجلات الصحية للسكان لتكون منطلقاً لدراسات طبية ودوائية.

إن العلوم الطبية - بصرف النظر عن الجمل البلاغية والحماسية التي قيلت حول الثورة الجينومية - لم تتغير بشكل يُذكر منذ الانتهاء من وضع تسلسل الجينوم البشري. فمازال مرضا القلب والسرطان يُعدان القاتلين الأولين. وما زلنا نهرم ونضعف ومازلنا نعاني أمراضاً وراثيةً. ولكن، لا تنخدعوا! فلعل هذا هو هدوء ما قبل العاصفة. فالجينات مهمة جداً، وهي لا تحدد أقدارنا، غير أنها تحمل معلومات عظيمة حول استعداداتنا الفطرية، ومواطن ضعفنا، وشخصياتنا، وإمكاناتنا، وأمزجتنا، فضلاً عن الإصابة بأمراض معينة. ومن التجربة العملية يتبين لنا أن علم الوراثة يمكنه أن يفسر من 25٪ إلى 75٪ من الاختلافات والتباينات بين بني البشر تتعلق بسمة مهمة ما، كأن نفسر حياء بعضنا، أو احتمال عُرضة بعضنا للإصابة بالسرطان، أو طول قامتنا، أو تنشئتنا، أو فطنتنا. أما بالنسبة إلى أولئك الذين يعيشون في بيئة نموذجية بدولة متقدمة – ما دامت التغذية والتنشئة كافيتين – فإن التأثيرات البيئية الواقعة عليهم لا تفسر التباينات السلوكية في شيء. إن مرد هذه التباينات إلى التأثيرات الفردية الفريدة التي لا نجد تفسيراً سهلاً لها في الوقت الحاضر. وتُعدُّ الجينات النافذة الأهم التي تجعلنا نطل على أنفسنا، وها هي ذي العلوم الطبية ترد الستارة عن هذه النافذة.

ولا يُحصر دور ثورة التقنية الحيوية في تفسير الجينات وكشف أسرارها؛ إذ ينطوي علم الأحياء على منهجيات مُوسعة معنية بدراسة مجموعات متنوعة من الجزيئيات التي تشكل الشبكات البيولوجية المعقدة فينا. وتُبذل جهود حثيثة في دراسة البروتيوم (proteome) الذي يضم الجميعة البروتينية، والجليكوم (glycome) الذي يضم الجميعة الكربوهيدراتية، والميتابلوم (metabalome)[3] الذي يضم جميعة الأيضات ذات الوزن الجزيئي المنخفض في الخلايا، والكينوم (kinome) الذي يضم جميعة الأنزيمات المُفَسْفِرَة للبروتينات. ويحتاج كل واحد من الجوانب السابقة إلى دراسة حثيثة تتضمن جمع

المعلومات وتمحيصها وتحليلها، ومن ثم ربطها بالأنماط المرضية والصحية. وتصب الجهود المحمومة المبذولة في هذا المجال في صلب مساعينا الرامية إلى كشف أسرار علم الأحياء البشري، وما كان ليتحقق أي من ذلك من دون تقنية المعلومات التي وفرتها الثورة السيليكونية للمباحث الطبية.

قد يرى بعض الناس في إشاراتنا إلى مشروع الجينوم البشري في هذا الفصل ما يدل على أنها تضم الجهود المبذولة في علم الأحياء الجزيئي كافة. وقد يكون أول ما نلاحظه في هذا السياق هو كشف أسرار الجينات، لأن ذلك أبسط بكثير من كشف أسرار البروتيوم على سبيل المثال. كما لن يكون يسيراً علينا كشف أسرار تحول النمط الوراثي (genotype) إلى نمط ظاهري (phenotype) بالغ، وإن كان الجينوم ذاته يمثل بنيةً خطيةً، يمكن جدولة التغيرات الطارئة عليها، وتحليلها، ومقارنتها مع التغيرات الناتجة في النمط الظاهري البالغ.

وستطرأ مجموعة من التغيرات المتلاحقة في الطب بفعل مشروع الجينوم البشري خلال السنوات العشر إلى الخمس عشرة القادمة. ولن تتمثل التحديات العظمى في إجراء اختبارات محددة على جينات مرتبطة بأمراض معينة، بل في إجراء اختبارات على الجينوم بأكمله وتحليله. وسيعتمد ذلك اعتماداً تاماً على توافر اختبارات جينومية غير مكلفة وموثوق بها أولاً، وفهم المعلومات المتاحة فهماً صحيحاً ثانياً. وتبدو النبذة الجينية الشخصية غير ذات قيمة فعلياً ما لم تُقرن بمعرفة تُعد غير متاحة اليوم. ولكن، ما إن تتوافر التقنية اللازمة لإجراء اختبارات شاملة وغير مكلفة، فإنه سيتم إجراء اختبارات على أعداد كبيرة من البشر ستكون محصلتها المعرفة اللازمة لفهم النبذة الجينية الشخصية. وستوسع المعرفة الناشئة دور تقنية المعلومات في الطب، كما أنها ستغير العلاقة المعرفية بين الطبيب ومرضاه، وتغير نظرتنا للصحة وعللها.

ولعل من أهم التغيرات الماثلة أمامنا توجهنا بوتيرة متسارعة نحو الطب الوقائي. ولن نتجاهل - حتماً - المعرفة الناجمة عن فهمنا للجينات وتجمعاتها وعلاقتها باستعداداتنا المرضية المسبقة أو قابليتنا للإصابة بعلة ما. وتبدو التحذيرات الطبية المجردة العامة أقل

استحواذاً على الاهتمام من التحذيرات المحددة التي قد توجه إلى شخص محدد، وسيهتم الكثيرون - حتماً - بالتخفيف من مخاطر تعرضهم لداء معين من خلال التدخلات الدوائية، أو التغييرات النمطية الحياتية، أو التغذوية. وبسبب الصعوبة البالغة لمتابعة حمية غذائية وممارسة التمرينات الرياضية بطريقة منتظمة فإن الكثيرين سيفضلون على الأغلب تناول حبة دواء لتحقيق المراد.

ولا يبدو - مبدئياً - أن المنهجيات الطبية الوقائية الناشئة الرامية إلى المحافظة على الصحة ستزعزع أسس علم الطب؛ إذ يتناول الكثيرون اليوم عقاقير دوائية معينة للمحافظة على صحة القلب والفيتامينات والمُكمِّلات الغذائية للغاية ذاتها. أما التحدي الحقيقي فلا يكمن فيما سبق، بل يكمن في عملية اتخاذ القرار بشأن كل حالة منفردة، وسبل نقل المعلومات الشخصية والتحقق من دقتها وصحتها.

ولن يفهم معظم الأطباء أهمية مثل هذه المعلومات الخاصة بمريض محدد، فهناك ما يشغلهم حقاً عن اقتحام مثل هذه المنطقة العويصة وغير المألوفة في الطب. ولنأخذ اللُّياف الكيسي على سبيل المثال؛ حيث إنه محصلة نحو 1000 طفرة جينية. غير أن واحدة من هذه الطفرات مسؤولة عن نحو 70٪ من حالات اللُّياف الكيسي، وهناك نحو 20 طفرة جينية أخرى، كل واحدة منها مسؤولة عن 0.1٪ من الحالات. ولكل واحدة من هذه الطفرات الجينية توقعات معينة.[4] ويمضي واين جرودي (Wayne Grody)، رئيس مختبر تشخيصات الدنا بجامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس - عادة - ساعات طويلة وهو يشرح مضامين الاختبارات التشخيصية لمرضاه. وهو لا يقوم بذلك لأن ذلك جزء من مسؤولياته الوظيفية، بل لأن الأطباء الذين حولوا المرضى في الأصل إليه لا يفهمون مثل هذه التفاصيل؛ فهم يتعاملون مع حالات معدودة أولاً وبسبب مشاغلهم الأخرى ثانياً.

إن أفضل طريقة لنقل معلومات معقدة بمثل هذه الخصوصية إلى أعداد كبيرة من المرضى - على الأرجح - تتم من خلال جهود جماعية تضم الإنترنت ومختصين مدربين تدريباً خاصاً في علم الجينات. ولكن يبقى السؤال: من سيدفع تكلفة هذه المنظومة؟ ومن أين سنأتي بهؤلاء المختصين المدربين؟ وأين ستقام البنية التحتية اللازمة؟ إذ لا يوجد في

الولايات المتحدة الأمريكية نفسها إلا آلاف منهم في هذا المجال. كما أن الانتقال نحو هذه المنظومة سيجهد إلى حد بعيد العلاقة القائمة بين الطبيب والمريض.

ونحن نمر الآن في خضم موقف من هذا القبيل؛ إذ يلتقي الكثير من الأطباء بمرضى لا يفهمون أسس الطب، غير أنهم أكثر علماً واطلاعاً من الأطباء أنفسهم على التطورات الحديثة في تشخيص اضطرابات معينة ومعالجتها. ولا عجبَ في ذلك؛ إذ إن هؤلاء المرضى معنيون أكثر من غيرهم بصحتهم وسلامتهم. وشيئاً فشيئاً سنعتاد فكرة أن الطبيب ليس هو السلطة العليا التي تصف الدواء، بل سيكون وصف الدواء محصلة حوار بين الطبيب ومريضه. وسيجعل هذا التحول - مقروناً بحقيقة قبول المرضى بشكل متزايد للأدوية "البديلة" وتبني صناعة العقاقير الدوائية لاستراتيجيات تسويقية تجعلها تستهدف المرضى مباشرة - المشهد الطبي مختلفاً تماماً عما كان عليه منذ عقد واحد فحسب.

وتُثار قضايا سياسية ضخمة في الوقت الذي أضحت فيه التدخلات العلاجية الكثيرة وقائية وانتقائية أكثر من أي شيء آخر. من سيدفع؟ ومن سيقرر ما هو ضروري؟ ومن سيكون من حقه النفاذ؟ وتشكل هذه التساؤلات تحدياً، خاصة في الولايات المتحدة الأمريكية؛ حيث إن التأمينات الصحية الخاصة والخطط الصحية ذات "أمدية" زمنية قصيرة، وهذا يجعلها غير مناسبة للرعاية الوقائية الطويلة الأمد. وتشكل هذه التطورات أيضاً تحدياً فيما يتعلق بالتغطية الطبية العالمية؛ حيث إن الرعاية الصحية مكلفة. ويجب ألا ننسى أن السكان يهرمون، وأن الضرائب مرتفعة، وكلما اتضحت الفائدة من مثل هذه التدخلات العلاجية، زادت توقعات السكان الصحية وزاد استعدادهم لأن ينفقوا أموالهم على التدخلات العلاجية. إن نزعتنا نحو التمتع بصحة مثلى ومساعينا لإجراء أي تدخلات علاجية في هذا الصدد لا تحدها حدود. غير أن مواردنا محدودة. ومادامت تكلفة التدخلات الوقائية مُعوَّضة ومقبولة إلى حد ما بفضل تقليلها من تدخلات التقنية الفائقة العلاجية المكلفة أو تأخيرها، فإن الجدل سيبقى محدوداً. أما إذا كانت التدخلات الوقائية غير معوضة بشكل أو بآخر، فإن خياراتنا تصبح صعبة لأن علينا حينئذ أن نفاضل بين الأمرين. وشيئاً فشيئاً ستزداد الحدود الفاصلة بين الطب والرعاية الصحية والأمن الاجتماعي ضبابية.

ويقول بعض الناس: إن مبحث الدوائيات الجينومية(pharmacogenomoics) – أي توليف العقاقير الدوائية بما يتفق مع خلفياتنا الجينية المختلفة – الذي ظهر مؤخراً سيؤثر تأثيراً عميقاً في الطب؛ إذ سيساعدنا هذا المبحث في تطوير عقاقير دوائية أكثر فاعلية، كما أنه لا يشكل تحدياً عظيماً للمثل الطبية الراهنة. إن إجراء اختبارات إضافية للاختيار من بين علاجات مختلفة إنما يُعد تغيراً نوعياً لا كمياً. وستكون مُخرجات مبحث الدوائيات الجينومية أكثر أهمية في صناعة العقاقير الدوائية؛ لأنها قد تعيد إحياء أدوية فاعلة صرفنا النظر عنها لما لها من آثار جانبية على بعض المرضى. ولو أننا استطعنا أن نحدد هؤلاء المرضى ونستثنيهم مقدماً، فإن اعتماد هذه العقاقير يصبح أمراً ممكناً. وهذا صحيح أيضاً لو أننا حددنا جماعة من المرضى الذين يستجيبون لدواء معين استجابة فاعلة وفصلناها لإعطائها الدواء بشكل منفصل. وكلما اعتمدنا هذا المبحث وَوَلَّفنا أدوية مُخصصة بحسب التركيبة الوراثية، زادت صعوبة الاختبارات الخاصة بالسلامة والفاعلية. ولذا، فإن مبحث الدوائيات الجينومية سيعقد العملية التنظيمية أكثر فأكثر.

وقد يكون التأثير الأعظم لمبحث الدوائيات الجينومية في الطب أنه سيعجل بربط القرارات الطبية بالتقنية؛ حيث ستضاف الاختبارات التشخيصية والمعلومات العظيمة المستجدة إلى سجلاتنا الطبية. وهذا – بالضرورة – سيزيد الاعتماد على النظم الحاسوبية المتخصصة من أجل توليف الوصفات الطبية والتحقق من فاعليتها، وقد قطعنا شوطاً طويلاً في هذا المجال بالفعل.

وسيكون لقدرة الأطباء المتزايدة على صنع أدوية بمواصفات مخصصة دقيقة تأثير آخر؛ إذ إنها ستزيد استعدادنا لتناول العقاقير. فالعقاقير الدوائية تشكل نسبة 8٪ فحسب من التكلفة الطبية الإجمالية في الولايات المتحدة الأمريكية؛ إذ إن التكلفة المنخفضة للعقاقير الدوائية مقارنةً بالتدخلات العلاجية الأخرى تجعلنا نعتمد عليها أكثر فأكثر. وإذا استطعنا من خلال العقاقير الدوائية أن نبقي مريضاً مصاباً بداء ألزهايمر خارج دار العجزة فترة أطول، أو نقصر من فترة بقائه في المشفى، فإننا سنوفر الكثير من تكلفة الرعاية الصحية.

وسيسلط هذا الضوء على واحدة من أهم القضايا العويصة في الطب، وهي الموازنة بين الخصوصية الفردية والمعالجة الجماعية. فمع ازدياد صعوبة الدراسات الحيوانية والتجارب المخبرية الضخمة وتكلفتها، سيصبح منطقياً أن نتقاسم السجلات الطبية من أجل رصد التفاعلات الدوائية الدقيقة والتنبؤ بشكل أفضل باستجابة المرضى من خلال وضع معايير جينية وأعراضية.

وكلما زادت قدرتنا على رصد المعلومات الضخمة المتاحة وتحليلها حول رعايتنا الصحية وسجلاتنا الطبية، مشينا في المسار السابق أكثر فأكثر. إن البشرية عامة مشتركة الآن في تجربة طبية جماعية ضخمة تشمل جوانب دوائية وتغذوية وحياتية مختلفة لها تأثيرها في صحتنا. وفي الوقت الراهن، فإننا لا نعير بيانات هذه التجربة اهتماماً كافياً؛ لأن تكلفة استخلاصها وغربلتها وتحليلها مهولة. وإذا أردنا التحقق من شيء ما فإنه من الأفضل لنا أن نجري تجربةً مخبريةً في هذا الصدد. ولكن، في حال انخفضت تكلفة استخلاص البيانات وتحليلها، وتعززت قدرتنا على إزالة السمة الشخصية أو الفردية عن البيانات المستقاة، وازدادت تكلفة إجراء التجارب المخبرية، فإن الأوجه الاقتصادية ستسير في الاتجاه الآخر.

وقد أضحى مغرياً لنا أن نطور بنى مؤسسية، وسجلات نموذجية، وأدوات شبكية؛ لجمع المعلومات وتمحيصها ودراستها بحثاً عن أدلة قد تساعدنا في سَبْر أغوار العوامل التي تؤثر في صحتنا بفعل تفاعلاتها. وكلما اتسعت رقعة المعلومات المجمعة زادت أهميتها والاهتمام بها، آخذين في الحسبان أن الأنماط الحياتية والجينية والبيئية والتغذوية والمرضية متفاوتة إلى حد بعيد حول العالم. وسنسعى نحن كأفراد للحصول على مثل هذه المعلومات لمعانيها العظيمة بالنسبة إلى صحتنا، كما أنها ستساعدنا في اتخاذ قرارات مثلى بشأن مخاطر الخيارات المتاحة وحسناتها. كما سنسعى نحن كمجتمعات للحصول على مثل هذه المعلومات لتقويم الخيارات المتاحة الأوسع نطاقاً والمفاضلة بين وضعين، أولهما أن تصيبنا أضرار مردها بطريقة مباشرة إلى أخطاء في التدخلات العلاجية بسبب عدم اختبارها بطريقة كافية، وثانيهما أن تصيبنا أضرار مردها بطريقة غير مباشرة إلى عدم تطبيق التقنيات المفيدة والمماطلة في تطبيقها.

ومن الصعب ألا نتخيل وجود دور موسع للبيانات الصحية الشخصية المجمعة والمعالجة في الدراسات الطبية وفي الممارسات الطبية. ولكن لهذه القضية حساسيتها؛ إذ يجب التوفيق بين مراعاة الخصوصية الفردية وتحقيق المنفعة الجماعية. وستثار مجادلات ومناقشات سياسية موسعة حول الخطوات اللاحقة. وتبين بلورة ما يُعرف بقانون "قابلية نقل التأمين الصحي ومساءلته" بصيغته النهائية في الولايات المتحدة الأمريكية عام 2001 التشريعات التي يمكن أن تثيرها المخاوف من اختراق الخصوصية الشخصية، واحتمال أن تؤثر هذه التشريعات في الممارسات الطبية من خلال التأثير في البنية التحتية للرعاية الصحية. وقد كان القانون محاولةً لضمان خصوصية السجلات الطبية الشخصية من خلال فرض قيود صارمة على استخدامها ومشاركتها في ضوء عدد من التطورات الأخيرة. ومن أهم هذه التطورات المذكورة تحويل السجلات الطبية إلى صيغة رقمية والقدرة المتنامية على تجميع قواعد معلوماتية طبية كبيرة وإمكانية النفاذ إلى السجلات الطبية لغايات بحثية ودراسية، وربما تسويقية استهلاكية، بالإضافة إلى دعوة مرضى معينين لإجراء تجارب مخبرية عليهم.

وقد بُذلت مساعٍ للتقليل من التبعات السياسية للنفاذ إلى البيانات الجينية بسهولة على نطاق واسع. فلطالما أكد العلماء تكافؤ بني البشر جينياً إلى حد بعيد، مشيرين إلى أن 99.9٪ من رموز شفرتنا الجينية متماثلة، حتى بين أولئك المنتمين إلى أصول وأعراق مختلفة. وإذا كانت النسبة المذكورة دقيقة، فإن هناك من يسيء فهم المغزى من وراء ذلك. فالجينوم البشري يتألف من ثلاثة مليارات زوج قاعدي، وإذا افترضنا أن هناك اختلافاً واحداً فحسب في كل ألف زوج قاعدي فإن المحصلة ستكون ثلاثة ملايين اختلاف. وعلاوةً على ذلك، فإن اختلافات معدودة قد تكون حاسمةً إلى درجة أنها تؤدي إلى الوفاة.

لا شك أننا جميعاً متشابهون. فنحن جميعاً من الثَّدييات، ومن رتبة الرئيسات (Primates)، ومن بني البشر. قد نبدو متشابهين في عين أسد جائع أو زائر من كوكب آخر، غير أننا مختلفون. كما أن إدراكاتنا الحسية وحساسياتنا دقيقة جداً وهي التي تجعلنا نرصد الاختلافات البالغة الدقة أكثر من رصدنا للتشابهات. وهذا منطقي من حيث إننا في

حالة منافسة مع بعضنا بعضاً، سعياً وراء المال أو السلطة أو الصداقة أو حتى شريكنا في العملية الجنسية.

وعلينا أن نفهم هذه القضية أو أن نتفهمها بكل محاذيرها، ونحن في خضم هذه العملية الاستكشافية الرامية إلى دراسة الفروقات البيولوجية الفعلية بيننا، كأفراد أو كجماعات. ومما لاشك فيه أن جدلاً محتدماً سيثار في هذا السياق، وهو ما سيؤثر في الممارسات الطبية، وخاصة ونحن بصدد تطوير علاجات دوائية بحسب التركيبة الجينومية وإجراء دراسات لتصميم علاجات طبية مخصصة لكل حالة وحدها، وربما لكل ثنائي من الجنسين أو جماعة سكانية وحدها. وليس من الحكمة في شيء أن ننكر وجود مثل هذه الاختلافات منذ البداية.

التطورات البعيدة الأمد في الطب

مما لاشك فيه أن التطورات القصيرة الأمد المذكورة آنفاً في الطب والرعاية الصحية مهمة، غير أنها تبدو متواضعة جداً عند مقارنتها بالتغيرات البعيدة الأمد التي ستتحقق بفضل ثورة علم الأحياء الجزيئي. فماذا سيحدث إذا نجحنا في إعادة صوغ الأوجه الجوهرية في علم الأحياء؟ وماذا يحدث إذا كشفنا أسرار الشيخوخة وفهمنا جوانبها الوراثية والكيميائية ـ الحيوية فهماً يمكننا من تأخيرها؟ وماذا يحدث إذا صنعنا توليفة دوائية تمكننا من التحكم بعواطفنا بطريقة دقيقة من دون أي من الآثار النفسية الجانبية التي اعتدنا عليها اليوم؟ وماذا يحدث إذا تحكمنا في الجوانب الوراثية للأجنة وتمكنا من صوغ شخصية أطفالنا وأمزجتهم في المستقبل؟

ما ذكرناه تواً ليس خيالاً جامحاً؛ إذ يرى الباحثون المختصون بالجوانب البيولوجية للشيخوخة أن مضاعفة عمر الإنسان أمر ممكن. بل إن ستيفن أوستاد (Steven Austad) من جامعة أيداهو الذي يُعد أحد أبرز علماء الشيخوخة مقتنع تماماً أن أول إنسان سيعيش حتى عمر 150 عاماً قد وُلِدَ بالفعل.[5] إن هذا التحول الحاسم في مسيرة الحياة البشرية سيغير علاقاتنا ومؤسساتنا ورؤيتنا لأنفسنا وربما مفاهيمنا للمعنى والمغزى.

وسيكون الطب حتماً في صُلْبِ هذه التغيرات البالغة الأهمية. بيد أن علينا أن نتذكر أن ما ذكرناه سابقاً لا يخضع بسهولة للنماذج الطبية التقليدية، ومن ثم لن يمر بسلاسة. بل إن الكثير من الأطباء لن يتقبلوا مثل هذه الأفكار، وسيعارضها بعضهم وإن كانت موثوقاً بها وغير محفوفة بالمخاطر. فهم يرون أن دورهم محصور في مُعالجة المرضى وأن الشيخوخة قضية مختلفة تماماً، وإن كانت تسبب لنا جميعاً وهناً وضعفاً، فضلاً عن أنها مرتبطة في حد ذاتها بأمراض معينة. وأظن أننا لو نجحنا في السيطرة فعلياً على الشيخوخة لتبدلت هذه المواقف بسرعة، وقد تتغير غايات الطب لتستوعب أمراً كهذا. وهذه هي التغيرات الحقيقية التي قد تطرأ على الممارسات الطبية بفعل ثورة التقنية الحيوية. وإننا نتجنب مواجهة الحقيقة حقاً إذا تخيلنا أن الهدف من الجهود الحثيثة التي نبذلها الآن لسَبْرِ أغوار الحياة وكشف أسرارها محصور في التوصل إلى علاجات معينة أو الوقاية منها؛ فالقضية أبعد من ذلك بكثير وستؤدي بنا إلى التساؤل عن طبيعة الرعاية الصحية بعد زوال الحدود الفاصلة بين المعالجة والتحسينات الحيوية، بينما يتشبث المختصون في الأخلاقيات الطبية بوجود هذه الحدود الفاصلة، مؤكدين أن المعالجة غاية سامية، أما أن نبذل جهوداً مضنيةً لنعزز أعضاءنا أو نطيل أعمارنا فقضية مختلفة تماماً.

ولكن، أين نرسم الحد الفاصل بين المعالجة والتحسينات الحيوية؟ إذا استطعنا أن نبطئ عملية الشيخوخة ونطيل حياتنا ومعافاتنا عقداً أو اثنين، فإن ذلك يُعد تحسيناً، غير أننا لو استطعنا أن نعالج أمراض الشيخوخة التي تصيبنا في نهاية المطاف، لعُدَّ ذلك معالجة وقائية. غير أن هذا الجدل ذو طبيعة أكاديمية صرف، لأن الكثيرين سيبذلون كل ما وسعهم للحصول على أي دواء يبطئ الشيخوخة في حال توافره. إننا - من دون أدنى شك - سنسعى لتناول مثل هذا الدواء، ولو أننا نظرنا في تجربتنا مع الفيتامينات والجراحة التجميلية، لرأينا أن الكثيرين يهمهم أن يبقوا أكثر صحةً، وسرعةً، وقوةً، وذكاءً، وموهبةً، وشباباً، وجاذبيةً. وفي الحقيقة ستخل مثل هذه الاحتمالات بالطبيعة الخاصة للطب.

أما المجال الثاني الذي سيشكل تحدياً لنا فهو تطوير عقاقير دوائية تشكل أمزجتنا وعواطفنا وتوجهها. وهذا ليس أمراً غريباً عنا، ولعل إخفاق الحرب الدولية على المخدرات دليل بَيِّنٌ على إقبال بعضنا على العقاقير التي تؤثر في أمزجتنا. ويُعد دواء

الريتالين (Ritalin) الذي يوصف لمعالجة داء (ADHD) (عَوَز الانتباه/ اضطرابات النشاطية المُفرطة) ودواء بروزاك (Prozac) الذي يوصف لمعالجة الاكتئاب خطوتين متواضعتين في هذا الصدد. لنتخيل مثلاً أننا ستتمكن يوماً ما من تناول حبة دواء تجعلنا قانعين راضين دون أي من الآثار الجانبية المرافقة للعقاقير غير القانونية المعروفة اليوم. هل يا تُرى سيحجم أحدنا عن تناولها؟ وإذا أقدمنا على تناولها، فمن سنكون حينئذٍ؟ وما الذي سيحفزنا على ذلك؟ ومن سنكون "نحن" حين نقرر أن نختار محفزاً ما لسلوكنا؟ يُسمى المبحث الذي يُعنى بدراسة ذلك الدوائيات النفسانية التجميلية (cosmetic psychopharmacology) ، وهو سيمثل حتماً تحدياً طبياً جوهرياً بما سيحققه من إنجازات سلوكية ـ حيوية في العقود القليلة المقبلة. وبيت القصيد هنا أن عواطفنا توجه سلوكنا بطرائق تضمن بقاءنا. فالحب والغضب والجشع والحسد كلها أمور تحفزنا، ولو أننا كبحناها وشكلنا عواطفنا بحسب أهوائنا، فمن سنكون نحن حينئذٍ؟

وأما المجال الثالث الذي ستحدث فيه التقنية تغييرات عميقة وجذرية فهو الطب التكاثري. فمع اكتشافنا كوكبة من الجينات التي تحدد إمكاناتنا وأمزجتنا وأوجه ضعفنا، فإن الكثيرين سيسعون لاختيار البنية الجينية لأطفالهم. غير أن اختيار التركيبة الجينية لأبنائنا يخرج بنا عن المهمة التقليدية للطب، حتى إن الفكرة نفسها تثير خلافاً وجدلاً واسعين.

هناك ثلاث طرائق محتملة لتحقيق ما سبق. الطريقة الأولى هي الاستنساخ التكاثري الذي أثار اهتماماً عاماً هائلاً، غير أنه لا يتعدى حدود الضجة الإعلامية بأي حال من الأحوال؛ إذ لم يتم تطبيق هذه التقنية على أي من الرئيسات، ولكن من غير المرجح أن تبقى هذه العملية محصورةً فترة طويلة في الفئران وبعض الحيوانات الأليفة برغم غموضها ومخاطرها. وسيكون مستغرباً لو أن هذه التقنية لم تُطبق على بني البشر خلال العقد المقبل. ومن المؤكد أن هذه التقنية ستطبق قبل أن يعدها الباحثون سليمة، كما أنه من المؤكد - أيضاً - أن يعلن أطراف معنيون أكثر من مرة عن نجاحهم في استنساخ بني البشر قبل أن يتم ذلك بالفعل.

وتبدو الضجة المثارة حول الاستنساخ غير متناسبة مع التهديدات التي يمثلها. وفي نهاية المطاف، فإن النسيلة المُستنسخة لا تعدو كونها "توأماً طبيقاً" مؤجلاً، وبرغم أن مثل هذا الأمر يبدو غريباً ومحيراً، فإنه لن يقلبَ حضارتنا رأساً على عَقِب؛ حيث إنه لا يختلف كثيراً في تأثيره عن أطفال الأنابيب. وقد التقى معظمنا مع توائم طبيقة، ولاحظنا أن أصحابها متشابهون برغم اختلافهم. ولاشك أن التوائم الطبيقة حالة فريدة. ولا تبدو الضجة الإعلامية في غير موضعها تماماً؛ حيث أضحى الاستنساخ رمزاً إلى الاحتمالات غير المألوفة والمقلقة المرتبطة بالتقنية الحيوية المتقدمة.

لقد أثر الاستنساخ البشري – الذي لم يتم حتى الآن – تأثيراً عميقاً في الطب؛ إذ برزت عقبات عظيمة في طريق المبحث الطبي المعني بدراسة عملية نقل النوى لتخليق خلايا جذعية جنينية يمكن استخدامها كغريسةٍ نسيجيةٍ. وفي حقيقة الأمر كان الكونجرس الأمريكي عام 2002 على وشك أن يقر قانوناً يُجرِّم فيه ما يُعرف باسم الاستنساخ العلاجي ويعاقب الباحثين الطبيين المخالفين لهذا القانون بالسجن مدة عشرة أعوام.[6] إن عدم قلق المناصرين لهذا القانون من فكرة تجريم الدراسات الطبية الحيوية الأساسية حول الخلايا وجعلها جناية أمام القانون، وعدم اكتراثهم بأمراض الآخرين ومعاناتهم – مثل أولئك الذين يعانون داء باركنسون أو السكري أو إصابات الحبل الشوكي – وحرمانهم مما قد تتوصل إليه هذه الدراسات من علاجات، إنما يؤكد رفضاً دينياً وفلسفياً راسخاً للاستنساخ.

ومن المفارقة حقاً أن الجدل المحتدم حول هذه القضية قد أنسانا طريقةً أكثر فاعلية تمكن الأبوين من اختيار جينات أبنائهم، وهي ما يُعرف باسم التشخيصات الجينية المسبقة أو الاختبارات المسحية الجينية؛ حيث إن هذه الطريقة معروفة ومعتمدة منذ نحو عقد. وعملية التشخيصات الجينية المسبقة سهلةٌ في مفهومها؛ حيث يقوم مختصون طبيون بنزع خلية من جنين ذي ست خلايا أو ثمان من دون المساس بالجنين نفسه ومن ثم دراستها جينياً. ومن ثم يقرر الأبوان – بناء على نتيجة الدراسة الجينية – إذا ما كانا يريدان زراعة الجنين في رحم الأم أو التخلص منه وزراعة جنين آخر. ومنذ مطلع تسعينيات القرن العشرين، اعتمد الكثير من الآباء الذين يخشون أن يُصاب أبناؤهم باللُّياف الكيسي أو

غيره من العلل الجينية الخطيرة هذه العملية، بل لم تَعُد هذه العملية تثير أي جدل حولها. غير أنها ستثير جدلاً لاحقاً لأنه من المتوقع أن يتعدى دورها تجنب مرض بعينه؛ بحيث تتيح للأبوين اختيار صفات مرغوب فيها لدى أبنائهم.

ولنا أن نتخيل ما سيفعله آباء المستقبل عندما يكون في وسعهم أن يجروا اختباراً مسحياً لمئات الأجنة بحثاً عن نزعة نحو صفة معينة يرغبون فيها أو يفضلونها. فقد يفضل الآباء طفلاً منفتحاً، طويلاً، أو حتى ورعاً متديناً (يبدو أن النزعة الدينية لها أصول وراثية إلى حد ما). وقد يرغب أبوان أن يكون طفلهما ذا حاصل ذكاء مرتفع؛ إذ يرد العلماء أكثر من 50٪ من حاصل الذكاء إلى أسباب وراثية.[7] ولو أن زوجين يتمتعان بحاصل ذكاء متوسط اختارا جنيناً من بين 100 جنين يُعتقد أنها ستظهر جميعاً حاصلَ ذكاء مرتفعاً لرزقا بطفل يتمتع بحاصل ذكاء أعلى بعشرين نقطة مما يحققه الآخرون في المتوسط الذي يبلغ 100 نقطة. وسيتمتع هؤلاء الأطفال بحاصل ذكاء أعلى من 90٪ من السكان، وهذا ما سيتحقق من خلال عملية آمنة وموثوق بها قد تكون ممكنةً من الناحية العملية خلال عقدين تقريباً. ربما لا تبدو هذه القضية الآن ذات طبيعة طبية، غير أنها ستكون كذلك في المستقبل، مثلما كان الإخصاب خارج الرحم قضية علميةً صرفاً وأضحى الآن جزءاً من الطب التناسلي. ويبدو واضحاً لنا أن التحديات المحتملة الماثلة أمام التشخيصات الجينية المسبقة استثنائية.

والملمون بأمر الإخصاب خارج الرحم – أي في الأنابيب المخبرية – يعرفون تماماً أن هذه العملية لا يمكن أن تنتج 100من الأجنة مثلاً. وقد تكون المرأة محظوظة حقاً لو أنها حصلت على عشر بويضات صالحة بعد حُقَنٍ هرمونية متتابعة ضمن عملية مؤلمة ومريرة ما كان ليلجأ إليها أحد لولا العقم. وإذا كان هذا هو حال الإخصاب خارج الرحم اليوم، فإنه سيكون أكثر يسراً في الغد القريب. وما إن يصبح من الممكن حصد بويضات غير ناضجة، وتجميدها، ومن ثم إذابتها، ونضجها خارج الرحم فإن الصورة ستتغير تماماً؛ إذ سيكون من الممكن أن تحصل المرأة على آلاف البُويضات من خلال خِزْعَةٍ مَبيضيّةٍ بسيطة ومن ثم تجميدها وحفظها. ويمكنها بعد ذلك بأعوام أن تذيبها وتنضجها خارج الرحم

ومن ثم أن تخصبها مع مَنِيٍّ "ذكريٍّ"، على أن تقرر زراعة بويضة تختارها أو بويضة خضعت لاختبارات مسحية للتأكد من خلوها من أي علة أو صفة غير حميدة.

وما إن تصبح هذه التقنية أمراً ممكناً من الناحية العملية، فإن الاختبارات المسحية ستستخدم لدى المصابين بالعُقم أولاً، والأثرياء ثانياً، ثم يعم من بعد ذلك استخدامها. وبطبيعة الحال قد نلجأ إلى الاختبارات المسحية في البداية لرصد الأمراض الخطيرة، غير أننا سُرعان ما سنهتم بالعلل الأقل أهمية مثل الكآبة المَهووسَة وما في حكمها. وفي استطلاع عالمي للرأي[8] أجراه في مطلع تسعينيات القرن العشرين داريل ميسر (Darryl Macer) – وهو أستاذ الأخلاقيات الطبية في جامعة تسوكوبا في اليابان – تبين أن ما بين 24٪ (كما في اليابان) و80٪ (كما في تايلند) من سكان العالم سيوافقون على تطوير القدرات البدنية والعقلية لأبنائهم في المستقبل.

أما الطريقة الثالثة لاختيار جينات أبنائنا والمتمثلة في تعديل جينات الخلية الأولى في الأجنة بطريقة مباشرة فتجعل الاختبارات المسحية الجنينية التقليدية تبدو بسيطة جداً. وتُعد هندسة "الخطوط الجرثومية" – التي تشير إلى الخلايا الجرثومية أو التناسلية – أهم طريقة مباشرة لتغيير الطبيعة الجينية البشرية. وسيبشر تطبيقها ببداية حقبة ستتمكن خلالها من تصميم بني البشر بطريقة واعية، وهذا ما قد يتحقق خلال جيل أو اثنين.[9]

ومن الأسباب التي تجعل المعالجة المباشرة للخطوط الجرثومية أمراً مرجحاً إلى حد بعيد أن تطبيقاتها الأولية تشبه تماماً التطبيقات الخاصة بالاختبارات المسحية الجنينية. وهنا نتساءل: هل من المهم حقاً أن يجري الآباء اختباراً مسحياً جينياً لعدد من الأجنة بهدف اختيار جنين يخلو من طَفْرَة اللُّياف الكيسي مثلاً، أو أن يعدلاه لتقويم هذه الطفْرة؟ وهل من المهم حقاً أن يختار زوجان جنيناً ذا نزعة جينية تجعل حاصل ذكائه مرتفعاً، أو أن يعدلا جنيناً لتحقيق النتيجة نفسها؟ ربما لا يعتمد القرار في إجراء الاختبارات المسحية الجنينية أو هندسة الأجنة على الجوانب الأخلاقية بقدر اعتماده على الجوانب الهندسية، ومنها السلامة والطبيعة العملية والاعتمادية. وبسبب الطبيعة المؤلمة لتبعات أي خطأ على الأطراف المعنيين، فإن معظم الآباء سيلزمون جانب الحيطة والحذر بشأن هذه التقنيات.

ومن المهم جداً أن نفهم أن هذه التقنيات لن تخلق بشراً خارقاً في المستقبل القريب. ولو أننا نظرنا في الأمر بروية لرأينا أن تطوير الإمكانات الفردية المتوسطة أو ما دون المتوسطة أمر سهل جداً مقارنةً مع تطوير الإمكانات التي تُعد فائقة بالفعل؛ لذا، ستساعد التقنية في البداية أصحاب الإمكانات الضعيفة لترتقي بأدائهم؛ لئلا يكونوا أقل من أقرانهم في شيء. ويبدو أن الهدف سيكون في هذه المرحلة المساواة بين البشر وليس خلق طبقة نخبوية.

إننا نخدع أنفسنا حقاً لو أننا ظننا أن آباء المستقبل لن يواجهوا خياراتٍ عصيبةً وصعبةً بشأن التركيبة الجينية لأبنائهم. وسيقع الآباء في حَيْصَ بيصَ سواء قرروا الاستعانة بهذه التقنية أو تجاهلها، لأنهم يعرفون يقيناً أن أبناءهم سيحكمون على قراراتهم لاحقاً. كما ستكون العلوم الطبية في صُلب الجدل المثار حول تحديات علم الأحياء التناسلي.

مواجهة التحديات المستقبلية

وفرت التقنية الحيوية الجزيئية للبشرية احتمالات غير مسبوقة في مجالات شتى، منها - على سبيل المثال - إطالة العُمر، فضلاً عن نشوء مبحثي: الدَّوائيات النفسانية التجميلية والهندسة الوراثية؛ بيد أنه من غير المرجَّح أن تقبل المؤسسة الطبية متابعة هذه التطورات التحولية، وإن كانت لن تستطيع أن تغض الطرف عنها فترة طويلة.

ولكن ينبغي لنا ألا تعمينا المعرفة العظيمة الناشئة التي حققتها التقنية في العلوم الطبية، لأنه يبدو مجدياً أن نعاين ثورةً يشهدها عالمنا اليومَ، ويبدو أنها ليست على وفاق مع الاحتمالات التي تخلقها التقنية الفائقة؛ إذ تجدد في العالم المتقدم الآن الاهتمام بالطب التقليدي وما يقوم عليه من أعشاب طبية وعلاجات قديمة. غير أن ذلك لا يمثل ثورة مضادة للطب المعاصر كما قد يُخيَّل إلى بعضنا؛ لأن التقنية لها دورها في الطب التقليدي أيضاً؛ فقد مكنتنا قدرتنا الفائقة في مجال مشاركة المعلومات ومعالجتها من أن نجمع معلومات من أرجاء العالم حول تفاعلنا مع الكيمياء الثرية مع عالم النباتات والحيوانات من حولنا. ولا تخفى الأهمية البالغة لهذه المعلومات على أحد. ولا تختلف الكيمياء الحيوية

البشرية عن الكيمياء الحيوية الحيوانية إلا نادراً، وعندئذ لا يستغرب أن نتأثر تأثراً بالغاً بالحيوانات والنباتات من حولنا. لقد حاولت أشكال الحياة المختلفة عامة أن تؤثر في بعضها بعضاً عبر تاريخ النشوء.

فالكيمياء الحيوية المعاصرة - بكل أدواتها وإمكاناتها الفائقة - هي التي ستساعدنا في استخراج عقاقير دوائية جديدة مما يُعرف باسم الطب البديل. وبرغم ما يحيط بالطب البديل من حكايات ومشاهدات متباينة، فإن الحياة النباتية والحيوانية هي التي أعطتنا حتى الآن نصف عقاقيرنا الدوائية.

وإن التقاء الكيمياء الحيوية المعاصرة مع الطب البديل هو ما يمكن أن يعطينا حلولاً محتملة للتحديات التي تفرضها الأمور الآتية:

- انتشار الطب الوقائي على نطاق واسع.
- العقبات التنظيمية الخانقة التي تحول دون التوصل إلى عقاقير دوائية جديدة.
- الضغوط التسعيرية التي يشهدها مجال الرعاية الصحية.

تسعى شركة سيجنَم بيوسينسيز (Signum Biosciences) - على سبيل المثال - لأن تحقق اندماجاً بين الكيمياء الحيوية والطب البديل، من خلال استخدام الاختبارات المتقدمة المسجلة باسمها لاستخراج عقاقير نباتية من أعشاب طبية مُعينة. وتهتم الشركة بدايةً بأمراض، مثل: ألزهايمر، والسكري، ومرض القلب، وغيرها من الأمراض التي لم يتم التوصل إلى عقاقير دوائية لها، ربما بسبب العقبات التنظيمية. وتهدف الشركة المذكورة إلى تحديد مجموعة من المُسْتَخْرَجات النباتية الفعالة وغير المكلفة التي يمكن أن تكمل عدداً من العقاقير الدوائية أو تحل محلها. وتواجه هذه المُسْتَخْرَجات عقبات تنظيمية محدودة مقارنةً بالعقاقير الكيميائية، وهكذا فإنها قادرة على الوصول إلى المرضى بشكل أسهل.

ومع التقدم الذي تحققه التقنية يوماً بعد آخر، يتعين على الطب أن يواجه تحدياً مهماً هو جعل هذه التقنية في خدمة البشرية، ودمجها مع المعارف والممارسات القائمة. ويجب ألا نفعل كُلَّ ما يمكن فعله. ولكن، طموحاتنا الجوهرية أن نطيل أعمارنا، ونتحكم في

عواطفنا، ونلد أطفالاً بصفات فائقة، تجعلنا نتطلع إلى اليوم الذي يحقق لنا الطب فيه كل هذا من دون أن نفكر في ملابسات ذلك أو تبعاته.

وستسلك البشرية هذا المسلك الذي تغلب عليه الطبيعة التقنية لسببين اثنين: أولهما، أن التقنيات ستكون محصلةً طبيعيةً للدراسات الطبية التي تلقى دعماً حماسياً واسعاً. ثانيهما، لأننا بشر قبل كل شيء. فنحن نستكشف أنفسنا ونقوم عيوبنا. فلطالما زرعنا، وبنينا، وأقمنا سدودنا، وطاردنا فرائسنا، وحفرنا مناجمنا. وبالمثل، فقد سعينا، ما وسعنا من جهد، إلى تغيير أنفسنا. فنحن نثقب أجسامنا، ونقص شعرنا، ونَشِمُ جلدنا، ونقوِّم أسناننا، ونجمِّل أنوفنا. ونحن نتناول الأدوية لتخفيف آلامنا، وتخفيض أوزاننا، ومنا من يتناول الأدوية ليخلد إلى النوم، أو ليظل مستيقظاً أو منتعشاً. أما أن يقول بعضنا: إننا سنتجاهل السبل المتاحة لتغيير أنفسنا فإن ذلك يُعدُّ إنكاراً لما فعلناه سابقاً. كما أن حجب هذه التقنيات فترة طويلة سيتطلب قمعاً وكبحاً عالميين سيفوقان في فظاعتهما ما قد يتمخض عن التقنيات نفسها.

وستصطدم العلوم الطبية - التي تُعَدُّ بوابة هذه التقنيات - بالضرورة مع بعض الآراء غير المؤيدة لها. غير أن علينا في نهاية المطاف أن نواجه الحقيقة. إن جبهتنا المقبلة لن تكون الفضاء، بل هي أنفسنا. وستكون التقنية الحيوية والعلوم الطبية في مقدم هذه الرحلة الاستكشافية.

بطبيعة الحال، يقول بعض العلماء: إن التقنية الحيوية لن تحقق ما تريد، وهم يرون أن علم الأحياء وعلم الوراثة - بالنسبة إلى الإنسان - معقدان جداً، ولن يكون ممكناً التدخل فيهما بطريقة مفيدة. مما لاشك فيه أن بعض التدخلات ستكون مستحيلة، ولكن بعضها الآخر سيكون صعباً ولكنه ليس مستحيلاً، بل سيكون بعضها ممكناً من دون أي عناء يُذكر. فمن اليسير أن نتدخل تدخلاً بيولوجياً بسيطاً لنحقق نتائج باهرة. فيمكننا - على سبيل المثال - أن نضاعف حياة الدُّودة المُدَوَّرة إذا ما أجرينا تعديلاً في واحدة من جيناتها، وهو الأمر الذي لم يفطن إليه أحد قط منذ عقود قليلة. ومن الأمثلة المذهلة في هذا السياق أيضاً النَّملة اللَّهِبَة؛ إذ يمكننا من خلال تعديل جينة واحدة لها دورها في رصد مادة

الفيرمون (pheromone) – وهي مادة كيميائية تفرزها بعض الكائنات الحية لتوجيه كائنات من النوع نفسه إلى فعل ما – أن نجعل مستعمرات النمل اللَّهِب متعددة المَلِكات بدلاً من أن تكون أحادية المَلِكَة، وهي – بلا شك – ظاهرة اجتماعية معقدة جداً مرتبطة بجينات عدة ومسارات كيميائية حيوية.

ويدعي نقاد متعددون أن بإمكاننا ببساطة أن نحظر مثل هذه التقنيات. وقد يمكننا أن نفعل ذلك الآن؛ حيث إن هذه التقنيات غير موجودة فعلياً. ولكن يمكننا – في نهاية الأمر – أن نطورها في موقع آخر، بعيداً عن الأنظار، ومن ثم سيحتكرها الأثرياء الذين في وسعهم أن يتجاوزوا القيود المفروضة من دون عناء. وإذا كانت الفحوصات الجنينية محظورة في ألمانيا، فإن في وسع أثرياء ألمانيا أن يجدوا ضالتهم في بروكسل أو لندن.

ويواجه الطب اليوم تحدياً أخلاقياً: فإما أن نواجه هذه الاحتمالات الناشئة ونراقبها بطريقة واقعية وواعية أو أن نورثها أبناءنا من بعدنا. ولنتذكر أن هذه المعركة ليست بين الخير والشر، بل هي بين الخير والخير، ولهذه التقنيات حسناتها وسيئاتها. ولنا أن نتساءل في هذا المقام: أنتخذ القرار في هذا الشأن جماعياً ثم نفرضه على الآخرين جميعاً، أم ترانا نترك لكل امرئ الحرية في أن يقرر لنفسه ما يريده؟ ويبدو لي أن المجتمعات ستتباين في اختياراتها في هذا الصدد.

يعتقد بعض الناس أن تعليماً ونقاشاً كافيين سيجعلاننا قادرين على التوصل إلى إجماع بشأن التعامل مع التقنيات الناشئة. غير أن ذلك غير محتمل تماماً مهما طال نقاشنا وجدلنا. ولن نتوصل إلى إجماع لأن هذه القضايا مرتبطة ارتباطاً عميقاً بقيمنا. بل إن أفكارنا متأصلةٌ في تاريخنا، وفلسفتنا، وثقافتنا، وسياستنا، وديانتنا، بل أمزجتنا. وهناك صراع يلوح في الأفق وقطباه واضحان للعيان. فهناك من سيرى أن هذه التقنيات غزو لإنسانيتنا، وأنها شيء قميء يمس كرامتنا البشرية ويأتي على كل ما حققته البشرية بشقاء وعناء ألفية بعد أخرى. وهناك من سيرى في هذه التقنيات تتويجاً لمنجزات البشرية جمعاء، وأنها تعطينا فرصة غير مسبوقة لتجاوز كل حدودنا البيولوجية، وهو الأمر الذي طالما حلمت به أجيال من قبل.

وتشكل هذه التقنيات تحدياً لرؤيتنا لأنفسنا، واختباراً لإرادتنا في مواجهة مستقبل غامض لا تحدّه حدود. وفي النهاية لن يكون التحدي الحقيقي في كيفية تعاملنا مع العملية الاستنساخية، والفحوصات الجينية، والقلوب الاصطناعية، والأطعمة المعدّلة وراثياً، أو أي تقنية بعينها، بل يكمن التحدي الحقيقي في احتمال أننا سنواصل مسيرَتنا نحو المستقبل بكل احتمالاته، أو أن خوفنا سيردنا إلى الوراء لنترك كل شيء لقوم جسورين آخرين لا يخشون المغامرة. ولا أظن أن الصين ومعها دول أخرى ستضيع الفرص التي تتيحها هذه التقنيات.

ولكن، ما الرسالة الدينية هنا؟ لا يمكن أن تكونَ الرسالة هنا "لا تتقمص دور الرب"؛ لأننا نفعل ذلك بالفعل كلما تناولنا مضاداً حيوياً، أو زرعنا عضواً ما، أو حتى صعدنا إلى الطائرة. السخرية الحقيقية هنا هي أن السبيل الماثلة أمامنا إنما هي ذات طبيعة روحانية. إن انطلاقنا في هذه الرحلة التي تقودنا إلى وجهة غير معروفة إنما هي رحلة إيمانية غير مسبوقة، ولا يمكن أن تكون غير ذلك. فهذه العملية النشوئية الموجَّهَة بذاتها لا تخضع لتخطيطنا أو سيطرتنا. أما مسارها فيعتمد اعتماداً تاماً على طبيعة التقنيات المستقبلية التي لا نعرف عنها شيئاً الآن، وعلى القِيَم البشرية المستقبلية التي ربما لا نعيها الآن.

لقد دخلنا ألفية ثالثة؛ ولكن قبل أن تنتهي هذه الألفية بمئات الأعوام، وربما خلال قرن أو اثنين من الآن، قد يستذكر بنو البشر اللحظة التي نعيشها الآن، فإذا هم يرونها لحظةً عاصفةً مضطربةً وصعبةً. غير أنهم سيرونها – أيضاً – لحظةً فريدةً ومجيدةً في تاريخ البشرية؛ لأن أسس حياتهم وُضعت ورسِّخت خلالها. ولعل من المعالم التي سيرونها أيضاً أن علم الأحياء البشري قد أعيد تشكيله وصوغه. وسيحدث ذلك تدريجياً في البداية غير أن وتيرته ستتسارع كلما حققت ثورة التقنية الحيوية إنجازاً ما. وفي المحصلة سنرى أننا لم نغير معالم الطب فحسب، بل إننا أمام تحديات لأفكارنا الجوهرية حول البشرية.

إنها – في رأيي – لنعمة عظيمة لنا جميعاً أن نشهد هذه النقلة الحاسمة في تاريخ البشرية. غير أننا لسنا مجرد مُراقِبين وراصدين لهذه التحولات الجوهرية التي ستغير مسار الحياة البشرية وفهمنا لها، بل إننا مهندسوها ومجسماتها. وهذا ما يجعلها تشكل بحق تحدياً غير مسبوق.

في عام 430 قبل الميلاد أشار عميد المؤرخين اليونان ثوسيديديس ببراعة وبلاغة إلى التحديات التي تواجهنا وتواجه البشرية جمعاء في القرن المقبل حين قال: «مما لا شك فيه أن أشجعنا هم أولئك الذين يملكون رؤيةً واضحةً لما هو ماثل أمامهم، من أمجاد وأخطار معاً، وهم لا يترددون لحظة في مواجهتها».

الفصل الحادي عشر

التقنية الحيوية ومستقبل صناعة العقاقير الدوائية

ألان هابرمان

وجدت صناعة الأدوية العالمية نفسها عام 2003 في حقبة مليئة بالفرص والتحديات العظيمة. فقد قدَّم علماء الحياة، أولاً، للصناعة الدوائية مجموعة من التقنيات والاكتشافات العلمية الجديدة التي يمكن تطويرها إلى صناعة أدوية فائقة غير معروفة من قبل، بل صناعة أدوية لأخطر علل البشرية وأمراضها. كما أن المنهجيات التقليدية المعتمدة في اكتشاف الأدوية وتصنيعها، ثانياً، قد بلغت حداً بعيداً، فعزَّز هذا قدرتها على اكتشاف عقاقير دوائية مبتكرة. ورافق ذلك العدد المتزايد من الأدوية المسجلة التي بيعت على نطاق واسع والتي تنتهي براءات اختراعها في الفترة 2000ـ2010، فجعلها هذا عُرضة لمنافسة العقاقير الدوائية "الجَنيسة" (العقاقير غير المُحدَّدة المُلكية وغير المُسجلة). لقد استثمرت الصناعة الدوائية أموالاً طائلةً في التقنيات الجديدة، وخططت لاستخدامها في اكتشاف علاجات جديدة وتطويرها؛ ربما للتعويض عن تراجع سوق العقاقير الدوائية ذات القيمة العالية. غير أن الشركات الدوائية لم تستطع حتى هذه اللحظة أن تستغل التقنيات الجديدة بطريقة فعالة، فجعلها هذا تعاني عجزاً في عدد العقاقير الجديدة التي يتعين عليها أن تطورها لتضمن استمرارها. كما أن الصناعة الدوائية تواجه ضغوطاً مجتمعية، وخاصة تلك المتمثلة في المطالبات الراهنة لضبط أسعار الأدوية، فضلاً عن مطالبات أسواق الأسهم بتعزيز قيمة أسهم الشركات الدوائية، وخاصةً مطالبة هذه الشركات بزيادة أرباحها وعائداتها التي تعلن عنها على مدار السنة، وتحديداً كل ثلاثة أشهر.

لقد سعت الشركات الدوائية لمواجهة التحديات الماثلة أمامها في الحقبة الراهنة من خلال وضع استراتيجيات خاصة لأعمالها. وتقوم هذه الاستراتيجيات على الاستثمارات الداخلية في التقنيات المتقدمة لاكتشاف العقاقير الدوائية وتطويرها، وإقامة شراكات مع الشركات الدوائية ـ الحيوية والشركات التقنية، وإعادة هيكلة أعمالها، وتعزيز الصناعة الدوائية من خلال الاندماجات بين الشركات الدوائية العملاقة.

ويمكن أن نقول: إنَّ أبرز سمة في مشهد الصناعات الدوائية في أواخر تسعينيات القرن العشرين ومطلع القرن الحادي والعشرين موجة الاندماجات بين الشركات الدوائية العملاقة التي كان من شأنها تعزيز الصناعة الدوائية. وقد بلغت الاندماجات أوجها مع شراء شركة فايزر (Pfizer) لشركة فارماسيا (Pharmacia) بصفقة بلغت قيمتها 60 مليار دولار أمريكي (الصفقة كانت كلها سهميةً ولم تكن نقديةً)، تلك العملية التي بدأت عام 2002 وانتهت في نيسان/ إبريل 2003. وقد خلقت عملية الاندماج الضخمة عملاقاً دوائياً تفوق قيمة مبيعاته الدوائية الموصوفة حول العالم 48 مليار دولار أمريكي سنوياً (أي تستحوذ على 11٪ تقريباً من السوق الدوائية العالمية)، بينما تفوق مبيعاتها في الولايات المتحدة الأمريكية وحدها 25 مليار دولار أمريكي. وكانت صفقة فايزر ـ فارماسيا قد تبعت صفقةً عملاقةً سابقةً لشركة فايزر تمت عام 2000 حين استحوذت على شركة وارنر ـ لامبيرت (Warner-Lambert).

ونتيجةً لاندماجها مع شركة وارنر ـ لامبيرت، استحوذت شركة فايزر على عدد من العقاقير الدوائية الشهيرة والأكثر مبيعاً [1]. وهذا يشمل الدواء الشهير ليبيتور (Lipitor) (المُركَّب أتورفاستاتين atorvastatin) الذي يُعد أكثر دواء مبيعاً في العالم من مجموعة ستاتين (statin) الخافضة للكولسترول في الدم [2]. وقد بلغت مبيعات ليبيتور العالمية نحو 6.4 مليارات دولار أمريكي عام 2001. وبعد اندماجها مع شركة فارماسيا، استحوذت شركة فايزر على دواء التهاب المفاصل سيليبريكس (Celebrex) (المُركَّب سيلكوكسيب Celecoxib) الذي يُعد من الأدوية الأكثر مبيعاً، والذي بلغت مبيعاته عام 2001 أكثر من 3.1 مليارات دولار أمريكي، كما استحوذت شركة فايزر على عقار بيكسترا (Bextra)

(المُركَّب فالديكوكسيب valdecoxib) الذي أطلق حديثاً، وهو مثبط من الجيل الثاني لأنزيمات COX-2 (المُركَّب سيكلوكسيجنيز cyclooxygenase)، وهو من المجموعة نفسها التي تضم العقار سيليبريكس (Celebrex) الذي ذكرناه آنفاً، وهو منافس عقار فايوكس (Vioxx) (المُركَّب روفيكوكسيب rofecoxib) الذي تنتجه الشركة الدوائية العملاقة ميرك (Merck).

وعلاوةً على ذلك، أدت صفقة فايزر ـ فارماسيا إلى استحواذ شركة فايزر على العقار الذي كانت تسوقه شركة فارماسيا والمُسمى إنسبرا (Inspra) (المُركَّب إيبليرينون eplerenone)، والذي يُوصف لعلاج حالات فشل القلب الاحتقاني. ومن المحتمل أن يصبح إنسبرا من الأدوية الأكثر مبيعاً بعد أن أجازته هيئة الغذاء والدواء الأمريكية في أيلول/ سبتمبر 2002 لمعالجة ارتفاع ضغط الدم. وفي نيسان/ إبريل 2003 قدمت شركة فايزر طلباً للموافقة على إنسبرا للحؤول دون حدوث قصور قلبي في مرحلة ما بعد الجلطة القلبية. وقد جعلت الصفقة الاندماجية شركة فايزر أكبر الشركات الدوائية في العالم؛ من حيث المبيعات، والشركة الرائدة في أدوية أمراض القلب والأوعية الدموية والتهاب المفاصل ومُسكِّنات الألم. كما أعطت هذه الصفقة شركة فايزر مكانةً مهمةً في مجال أدوية السرطان والأمراض المعدية.

ولعل استراتيجية فايزر الاندماجية قائمة على حاجة الشركة إلى المحافظة على معدل نمو عال؛ من حيث العائدات السنوية والأرباح المتحققة للسهم الواحد. ووفقاً لإدارة الشركة العملاقة، فإن الصفقة الاندماجية ستجعل أرباح فايزر للسهم الواحد تنمو لتصل إلى 19٪ خلال الأعوام الثلاثة المقبلة، مقارنةً مع 16٪ قبل الصفقة الاندماجية.

وقد اعتمد نمو شركة فايزر على خفض النفقات من الاندماجات وذلك من خلال الاستغناء عن فائض الموظفين وإنهاء المهام المتكررة في الشركتين المندمجتين. وقد توقعت شركة فايزر أن توفر نحو 1.6 مليار دولار أمريكي خلال الأعوام الثلاثة التي أعقبت الصفقة الاندماجية. غير أن النمو من خلال خفض النفقات الناجم عن الصفقة

الاندماجية قد بدأ يتراجع، بينما تراجع نمو شركة فايزر من 18٪ في الرُّبع الأول من عام 2001 إلى 10٪ في الرُّبع الثاني من العام نفسه. ونتيجةً للصفقة الاندماجية مع شركة فارماسيا، تتوقع شركة فايزر أن تحقق خفضاً في النفقات قدره 2.5 من مليارات الدولارات.

وتتمثل آلة النمو الحقيقية لشركة فايزر، خاصة على المدى البعيد، في مجموعة الأدوية المحمية والمسجلة باسم الشركة التي يتم تسويقها، فضلاً عن العقاقير الدوائية التي هي قيد الدراسة والتطوير في الوقت الراهن. وباستثناء الدواء الشهير فياجرا (المُركب سلدينافيل سترات sildenafil citrate) الذي يُعدُّ أكثر العقاقير الدوائية المعالجة للضعف الجنسي عند الرجال مبيعاً والذي طورته شركة فايزر في مختبراتها الخاصة، فإن كل أدوية الشركة الأخرى الأكثر مبيعاً، مثل دواء ليبيتور (Lipitor)، ودواء معالجة الصَّرْع نيورونتين (Neurontin) (المُركَّب جابابينتين gabapentin)، ودواء معالجة الحساسية زيرتيك (Zyrtec) (المُركَّب هيدروكلوريد سيتيريزين cetirizine hydrochloride) قد تمت حيازتها من خلال الصفقات الاندماجية مع شركات أخرى أو مُرخَّصة من شركات أخرى. وفي عام 2002، توقعت فايزر أن تقدم عقاراً دوائياً واحداً أو اثنين لطلب الموافقة من هيئة الغذاء والدواء الأمريكية عليهما، برغم أن ميزانية البحث والتطوير لذلك العام قد بلغت 5.3 مليارات دولار أمريكي، بل من المتوقع أن ترتفع ميزانية البحث والتطوير بعد الاندماج مع شركة فارماسيا إلى 7 مليارات دولار أمريكي.

وفي عام 1991 قال جون نيبلاك (John Niblack) وهو المدير السابق لوحدة البحث والتطوير في شركة فايزر: إن بوسع الشركة أن تطرح عقاراً دوائياً واحداً أو اثنين في الأسواق سنوياً، وهذا غير كافٍ للمحافظة على معدل النمو في العائدات والأرباح الذي يتوقعه المستثمرون. وأضاف نيبلاك قائلاً: إن شركة فايزر ليست الشركة الدوائية العملاقة الوحيدة التي تواجه هذه المشكلة [3]. ولذا، فإن شراء شركة فايزر لشركة فارماسيا يعطي الأولى مخرجاً إلى أن تتمكن من التوصل إلى طرائق فاعلة لتطوير إنتاجية وحدة البحث والتطوير فيها، أو ربما إلى أن تستحوذ على شركة أخرى وتملك في نهاية المطاف الأدوية

الأكثر مبيعاً التي تسوقها هذه الشركة. ولكن، في مرحلة معينة سيتعين على شركة فايزر أن تطور هي نفسها معظم العقاقير الدوائية التي تسوقها، أو أن تحصل على الرخصة اللازمة لتسوق عقاقير دوائية مسجلة باسم أطراف آخرين، أو أن تقيم شراكات مع شركات التقنية الحيوية مثلاً، وهذا كله لأنه يتعين عليها أن تطرح في الأسواق المزيد من الأدوية كلَّ عام كلما كبرت وتوسعت [4]. كما تواجه شركة فايزر تحدياً آخر يتمثل في انتهاء البراءات المسجلة لبعض العقاقير الدوائية التي تسوقها في الفترة 2004 ـ 2007 فيفرض هذا عليها أن تطرح عقاقير دوائية بديلة للمحافظة على معدل نموها.

وعلاوةً على ذلك، فإن توسع شركة فايزر بشكل متواصل؛ ومن ثم زيادة قاعدة مبيعاتها الدوائية يفرض عليها أن تطور المزيد من الأدوية ذات القيمة الفائقة وتسوقه للمحافظة على النسبة المئوية لمعدل نموها. وهذا يعني أن على شركة فايزر أن تركز جهودها التطويرية على أدوية من المتوقع أن تحقق لها مبيعات ضخمة. ففي أعقاب اندماجها مع شركة وارنر ـ لامبيرت، وضعت شركة فايزر معايير خاصة لتطوير العقاقير الدوائية جعلتها تصب اهتمامها على الأدوية التي من المتوقع أن تحقق لها ما لا يقل عن 500 مليون دولار أمريكي سنوياً.

وهذا الوضع لا يختلف كثيراً عما تشهده الشركات الدوائية العملاقة الأخرى؛ حيث تملك هذه الشركات قواعد مبيعات دوائية ضخمة بفضل الاندماجات العملاقة، وربما في بعض الحالات بسبب النمو الداخلي (ومن أفضل الأمثلة في هذا السياق الشركة العملاقة ميرك Merck التي تُعدُّ أكبر شركة دوائية في العالم لم تدخل في اندماجات من قبل). ومن أجل أن تكون الشركة الدوائية العملاقة عند حسن ظن المستثمرين بها وأن تحقق لهم توقعاتهم وتحقق نمواً سنوياً في العائدات يصل إلى 10٪، فإن عليها أن تقدم في المعدل أربعة كيانات جزيئية جديدة سنوياً، على أن يحقق كل واحد منها مبيعات سنوية مقدارها 350 مليون دولار أمريكي. وتُعرف الكيانات الجزيئية الجديدة أحياناً باسم "الكيانات الكيميائية الجديدة" [5]. ولكن في الفترة 1996 ـ 2001 قدمت الشركات الدوائية العملاقة في المعدّل أقل من واحد من الكيانات الجزيئية الجديدة سنوياً للشركة الواحدة. وعلاوةً

على ذلـك، فإن ما نسبتـه 25٪ فقـط من الكيانـات الجزيئية الجديـدة حقق مبيعـات تُقـدر بـ 350 مليون دولار أمريكي أو أكثر عام 2000 [6]. وهذه بعض الحقائق المفزعة التي تـدعو الشركات الدوائية العملاقة إلى الاندماج مع بعضها بعضاً.

وبرغم الأهداف التي تضعها الشركات الدوائية العملاقة لمبيعاتها، فإن الكثير من الأدويـة المطروحـة لمعالجـة أمـراض بـشرية خطـيرة، سـيحقق - بحـسب التوقعـات الموضوعة في أثناء تطوير هذه الأدوية - أقـل مـن 500 مليـون دولار أمريكـي سـنوياً بكثير، وربما أقـل مـن 350 مليـون دولار أمريكـي، وإن كانـت مبيعـات بعـض هـذه العقاقير الدوائية ستصل إلى 500 مليـون دولار أمريكـي سـنوياً عقـب انتهـاء الحملـة التسويقية. وفي حالات أخرى، قد يُطور دواء ما لمعالجة أعراض محـددة، وهـذا يـسهل حصول الشركة الدوائية على موافقة الهيئات التنظيمية المختصة. وفي هذا الوضـع فـإن السوق الأولية لهذا الدواء تبقى محدودةً. ثم تجري الشركات الدوائيـة تجـارب سريريـة للتحقق من معالجة الدواء لأعراض أخرى في محاولة لتوسيع القاعـدة التـسويقية لهـذا الدواء. وبطبيعة الحال ليس هناك ما يضمن أن تحقق التجارب الـسريرية الإضـافية أي نجاح يُذكر.

أما الأدوية التي من المتوقع أن تكون محدودةً في تـسويقها، أو التـي يُقـصد أن تُطـرح لمعالجة أعراض محدودة في البدايـة ثـم تـسعى لتوسـيع مبيعاتهـا بعـد عمليـة طويلـة مـن التطويرات الإضافية، فليست مناسبةً للشركات الدوائية العملاقة. ولكن - بالمقابل - لنـا أن نَعُدَّ تطوير شركة صغيرة - وهذا حال معظم شركات التقنية الحيوية - لدواء يحقـق لهـا 200 مليون دولار سنوياً نجاحاً مهماً، وهذا قد يـؤدي في المحـصلة إلى تحويـل شركـة غـير رابحة في مرحلة التطوير إلى شركة رابحة، أو تحويل شركة أنتجـت عقـاراً دوائيـاً يتـيماً إلى شركة أكثر استقراراً وقادرة على تطوير أدوية عدة وتحقيـق عائـدات ضـخمة. وهـذا هـو السبب الذي يجعل الشركات الأصغر حجماً تطور الكثير من الأدوية الجديدة، وسـنناقش الأسباب الأخرى في أجزاء لاحقة من هذا الفصل.

لقد خلقت الصفقة الاندماجية بين فايزر وفارماسيا شركةً عملاقةً قد تهدد بضخامتها مكانة الشركات الدوائية العملاقة الأخرى، وخاصة إذا أخذنا في الحسبان ميزانية البحث والتطوير المتوسعة في شركة فايزر بعد الصفقة وحجم المبيعات مقارنة مع الشركات المنافسة. وهذا ما جعل الكثير من المراقبين للصناعة الدوائية يتوقعون أن تسبب صفقة فايزر ـ فارماسيا موجةً من الاندماجات العملاقة الإضافية، غير أن ذلك لما يحدث بعد، ويبدي بعض المراقبين شكوكهم من حدوث ذلك في الأعوام القليلة المقبلة. لقد عقدت شركة فايزر الصفقة الاندماجية مع فارماسيا من موقع قوة، لا من حيث نمو عائداتها فحسب، بل لأن الكثير من أدويتها الرئيسية لم تنتهِ مؤخراً براءات الاختراع المسجلة باسمها؛ خلافاً للكثير من الشركات المنافسة لها. كما تُعد فارماسيا شركةً قويةً من حيث مجموعة منتجاتها وبراءات الاختراع المسجلة باسمها.

إن الكثير من الشركات الدوائية العملاقة التي قد تفكر بعقد صفقات اندماجية في الوقت الراهن إنما هي معنيةٌ في المقام الأول بمعالجة مشكلاتها المتمثلة في نفاد براءات الاختراع المسجلة باسمها، وفشلها أو تأخرها مؤخراً في الحصول على الموافقة اللازمة على عقاقيرها الدوائية المهمة التي وصلت مرحلةً متقدمةً، فضلاً عن الصعوبات التصنيعية والتنظيمية. وعلى سبيل المثال، لقد تأثرت الشركة العملاقة إيلي ليلي (Eli Lilly) بانتهاء براءة الاختراع المسجلة باسم عقارها الأكثر مبيعاً بروزاك (Prozac) (المُركَّب فلوكسيتاين fluoxetine) الذي يوصف لمعالجة الكآبة، كما تأثرت الشركة نفسها بتأخر حصولها على الموافقات الضرورية من هيئة الغذاء والدواء الأمريكية على الكثير من عقاقيرها الدوائية بسبب مشكلات ضبط الجودة التصنيعية [7]. كما تأثرت الشركة العملاقة شيرنج بلاو (Schering-Plough) تأثراً عميقاً بانتهاء براءة الاختراع المسجلة باسم عقارها الأكثر مبيعاً كلارينتين (Claritin) (المُركب لوراتادين loratadine) الذي يوصف لمعالجة الحساسية، كما أنها خسرت حُكماً قضائياً في آب/ أغسطس 2002؛ حيث تم إنتاج نسخة غير مسجلة من المركب لوراتادين وطرحها في الأسواق بدءاً من كانون الأول/ ديسمبر 2002 [8]. كما عانت الشركة نفسها من متاعب توافقية تصنيعية مع هيئة الغذاء والدواء الأمريكية. وبالمثل، فإن شركة بريستول ـ مايرز سكويب (Bristol-Myers Squibb)

مهددة بسبب انتهاء براءات الاختراع المسجلة باسم عقاقيرها الدوائية، كما أنها فشلت في الحصول على موافقة هيئة الغذاء والدواء الأمريكية على دواء واحد خلال عامين متتاليين، ورخصت لشركات أخرى تطوير أكثر أدويتها مبيعاً، بدلاً من أن تطورها بنفسها، فجعل هذا وحدة البحث والتطوير التابعة لها غير منتجة فعلياً. كما أن الشركة نفسها قد دخلت في شراكة بقيمة ملياري دولار أمريكي مع شركة التقنية الحيوية إمكلون (ImClone) لتطوير دواء السرطان الواعد إربيتوكس (Erbitux) الذي طورته إمكلون، ولتسويقه. ولكن في حادثة لقيت اهتماماً عاماً رفضت هيئة الغذاء والدواء الأمريكية النظر في الطلب المقدم من الشركتين، مسوغة ذلك بالتجارب السريرية غير الكافية وغير الملائمة[9]. هذه المشكلات وغيرها تجعل مثل هذه الشركات غير مرشحة لصفقات اندماجية الغاية منها في المقام الأول تحقيق عائدات مجزية.

ومن وجهة نظر الصناعة الدوائية برمتها، فإن احتمال حدوث صفقات اندماجية إضافية أضحى بعيداً بسبب العدد المحدود من الشركات الدوائية العملاقة في الساحة الآن، ومردُّ ذلك إلى الاندماجات التي حدثت في الماضي. كما أن الغاية الحقيقية من الصفقات الاندماجية هي الاستحواذ على العقاقير الدوائية الأكثر مبيعاً والمحمية ببراءات اختراع لأعوام قادمة عدة. ومادام عدد هذه العقاقير الدوائية، سواء التي يتم تسويقها أو تطويرها في مرحلة متقدمة، محدوداً نسبياً، فإن ذلك سيثبط عزيمة الشركات الدوائية العملاقة على عقد صفقات اندماجية. وبرغم كل ما سبق، تتحدث الأنباء عن اعتزام الكثير من الشركات الدوائية العملاقة عقد صفقات اندماجية، وهذا يجعلنا لا نستبعد تماماً حدوث بعض الاندماجات بين الشركات الدوائية العملاقة في الأعوام القليلة المقبلة.

وعندما يتحدث المديرون التنفيذيون والمحللون الماليون والمعلقون المختصون في الصناعة الدوائية عن "مستقبل صناعة الأدوية" فإنهم يشيرون في العادة إلى التنبؤات بشأن الاندماجات المستقبلية بين الشركات العملاقة، و/ أو بروز شركات عملاقة جديدة لتنضم إلى ركب الشركات الراهنة. وقد يحدث ذلك على سبيل المثال عندما ترتقي شركة تقنية حيوية معينة إلى مرتبة الشركات الدوائية العملاقة، من خلال تطويرها لنفسها،

واندماجها مع شركات أخرى أو استحواذها عليها، أو احتلالها مكانة مهمة بتطويرها مجموعة من الأدوية لمعالجة عدد من الأمراض الرئيسية، وإن كانت أسواقها محدودة. غير أن العامل الأهم الذي يحدد بنية الصناعة الدوائية هو الصعوبات التي تواجهها الشركات في تطوير عقاقير دوائية كافية، وخاصة العقاقير الدوائية ذات القيمة الفائقة، لدعم نموها. لذا، فإننا سنستعرض لاحقاً أسباب هذه الصعوبات في تطوير العقاقير الدوائية، وما يتعين على الشركات فعله للتغلب على هذه الصعوبات، والدور المهم الذي قد تضطلع به شركات التقنية الحيوية في هذا الصدد.

تقصير المدة اللازمة لتطوير العقاقير الدوائية وزيادة فاعليتها

هناك عاملان مهمان مرتبطان يؤثران في قدرة الشركات الدوائية على تطوير عقاقير دوائية جديدة: المدة والتكلفة اللازمتان لإيصال الدواء إلى الأسواق، والصعوبات التي تعترض طريق اكتشاف عقاقير دوائية ذات فاعلية فائقة وضمها إلى مجموعة الأدوية التي تسوقها شركة ما. ووفقاً لمركز تفتس (Tufts) لدراسة تطوير الأدوية، فإنه قبل عام 2001 كان يستغرق طرح دواء موصوف جديد في الأسواق ما بين 10 أعوام إلى 15 في المعدل، وبلغ معدل التكلفة عام 2000 حوالي 802 مليون دولار.[10] وتشمل هذه التكلفة نفقات وحدات البحث والتطوير الناجمة عن إخفاق بعض الأدوية في بلوغ المرحلة الأخيرة من عملية تطويرها. إن تكلفة تطوير عقاقير دوائية جديدة قد ارتفعت ارتفاعاً رهيباً يفوق معدل التضخم بكثير. وعلى سبيل المثال، نجد أنه لو زادت التكلفة بسبب التضخم فقط، لارتفعت تكلفة تطوير عقار جديد من 231 مليون دولار عام 1987 إلى 318 مليون دولار عام 2000 لا أكثر.

ويمر تطوير العقاقير الدوائية بثلاث مراحل: اكتشاف الدواء، وتطوير الدواء (وأهم سمات هذه المرحلة التجارب السريرية)، واعتماد الدواء لدى الهيئات المختصة. وفي الولايات المتحدة الأمريكية، يقتضي انتقال الدواء إلى مرحلة التجارب السريرية تقديم طلب بهذا الخصوص إلى هيئة الغذاء والدواء الأمريكية والحصول منها على موافقة مسبقة

للبدء بهذه التجارب. وبعد الانتهاء من التجارب السريرية، تقدم الشركة الدوائية طلباً إلى الهيئة نفسها لاعتماد الدواء الجديد. وتكون الخطوة اللاحقة موافقة الهيئة على النظر في الطلب المقدم. وتكمن التكلفة الرئيسية لتطوير عقار جديد في تكلفة التجارب السريرية، ولعل التكلفة المتنامية لمثل هذه التجارب هي السبب الأهم في ارتفاع تكلفة إيصال دواء ما إلى الأسواق.

ووفقاً لمركز تفتس لدراسة تطوير الأدوية، فإن الفترة المستغرقة في مراجعة هيئة الغذاء والدواء الأمريكية للطلبات المقدمة لاعتماد أدوية جديدة والموافقة عليها قد قَصُرت إلى حد بعيد في الأعوام الأخيرة؛ إذ تراجعت الفترة اللازمة للموافقة على ما يُعرف باسم الكيانات الكيميائية الجديدة التي أشرنا إليها سابقاً والعقاقير الدوائية ـ الحيوية الجديدة ما بين 11.9 شهراً و12.6 في السنتين الماليتين 1994 و1997 على التوالي إلى ما بين 7.1 و8.0 أشهر في السنتين الماليتين 1998 و2000 على التوالي [11]. ومرد هذا التعجيل بعملية الموافقة إلى "قانون الرسوم المفروضة على مستخدمي الأدوية الموصوفة" الذي أجازه الكونجرس عام 1992 وتم تجديده عام 1997 من خلال قانون تحديث هيئة الغذاء والدواء الأمريكية، الذي نصَّ على أن تحسن الهيئة استجابتها واتصالاتها مع الصناعة الدوائية. وجاء فرض الرسوم لتمويل عملية مراجعة طلبات الأدوية الجديدة بطريقة عاجلة. وبرغم أن مدة مراجعة طلبات الكيانات الكيميائية الجديدة والمواد البيولوجية ذات الأولوية قد قصرت إلى حد بعيد بين السنوات المالية 1994 ـ 1997 و1998 ـ 2000، فإن مدة مراجعة طلبات الكيانات الكيميائية الجديدة والعقاقير الدوائية ـ الحيوية المعيارية أو غير ذات الأولوية كانت متفاوتةً، فقد قصرت مدة مراجعة طلبات الكيانات الكيميائية الجديدة بنسبة 9٪ بين الفترتين المذكورتين، غير أن مدة مراجعة العقاقير الدوائية ـ الحيوية قد طالت بنسبة 33٪. ولا تُعطى الأولوية لمراجعة طلبات العقاقير الدوائية إلا في حال ارتأت هيئة الغذاء والدواء الأمريكية أن لهذه العقاقير قيمة علاجية فائقة فيؤهلها ذلك لمراجعة مُعجَّلة. أما المراجعة المعيارية أو غير ذات الأولوية فتعطى لطلبات العقاقير الدوائية التي تُعد مماثلة في صفاتها وفعاليتها للعقاقير الدوائية المتوافرة حالياً أو تفوقها قليلاً.

وعلاوةً على تقصير المدة اللازمة لمراجعة طلبات العقاقير الدوائية الجديدة، فإن الفترة التي يحتاج إليها دواء ما للانتهاء من التجارب السريرية قد قصرت أيضاً؛ حيث توصلت الصناعة الدوائية إلى إجراء هذه التجارب بطريقة أكثر فاعلية. ووفقاً لمركز تفتس لدراسة تطوير الأدوية، فإن متوسط فترة التجارب السريرية، أي الفترة بين تقديم طلب إلى هيئة الغذاء والدواء الأمريكية للحصول على موافقة مسبقة للبدء بالتجارب والانتهاء منها وتقديم طلب لاحق إلى الإدارة نفسها لاعتماد الدواء، كانت أقصر بنسبة 19٪ في الفترة بين عامي 1993 و1998 مقارنةً مع الفترة بين عامي 1993 و1995 [12]. وتشمل الجهود التي تبذلها الصناعة الدوائية لتطوير فاعلية التجارب السريرية تحديد التجارب السريرية الضعيفة أو غير الملائمة وإعادة تصميمها، والاستعانة بمشورة هيئة الغذاء والدواء الأمريكية بحسب تصميم التجارب السريرية، وإعادة هندسة العمليات، وإدارة البيانات بطريقة متطورة. ويسمح قانون تحديث هيئة الغذاء والدواء الأمريكية المذكور آنفاً بإتمام مراجعات وموافقات "مُسرَّعة" لبعض العقاقير الدوائية الخاصة بمعالجة بعض الأمراض الخطيرة أو القاتلة التي من الممكن أن تقدِّم علاجاً ناجعاً لها.ووفقاً للإجراءات "المسرَّعة" فإنه يجوز لهيئة الغذاء والدواء الأمريكية أن توافق على دواء أظهر نتيجةً وسيطةً مبشرةً من الناحية الفسيولوجية أو الكيميائية ـ الحيوية عادة في أثناء تجارب سريرية منظمة بطريقة دقيقة. وقد تتضمن هذه النتائج الوسيطة المبشرة تقلص الأورام أو اختفاءها في عقار لمعالجة السرطان، أو تحسناً في عدد الخلايا المناعية CD4 في عقار لمعالجة الأيدز. وفي هذه الحالة يُطلب من الشركة الدوائية المُصنِّعة أن تجري المرحلة الرابعة من التجارب السريرية بعد الحصول على الموافقة المبدئية والبدء فعلياً بتسويق الدواء، بهدف تحديد دور العقار في إطالة عُمر المريض الذي يعاني مرضاً خطيراً. هذه الإجراءات "المُسرَّعة" قصَّرت المدة اللازمة لتطوير العقاقير الدوائية الضرورية لمعالجة الأمراض المستعصية أو القاتلة.

وبرغم التطورات الإيجابية التي ذكرناها تواً في الصناعة الدوائية، فإن السبب الأهم وراء عدم فاعلية الشركات الدوائية في تطوير العقاقير إنما هو العقبات التي تعوق عملية اكتشاف الأدوية. فلو أننا توصلنا إلى طرائق أكثر فاعلية في اكتشاف العقاقير الدوائية، لقلل ذلك من إخفاق التجارب السريرية المكلفة في المراحل المتقدمة، من خلال استبعاد

المركبات الدوائية التي من المرجَّح أن تفشل منذ البداية، ومن خلال صب الشركات اهتمامها على الآليات البيولوجية التي من المرجح أن تحقق فاعلية عالية ودقة متناهية في معالجة الأمراض.

ويُعد مجال اكتشاف الأدوية الأكثر تأثراً بالتغيرات الجوهرية في التقنيات الحيوية. كما سيكون هذا المجال الأكثر تأثراً بالتطورات في قدرات الشركات على استغلال التقنيات الجديدة مثل الجينوميات والبروتينيات بطريقة فاعلة، وهذا سيوصلنا في نهاية المطاف إلى اكتشاف عقاقير دوائية فاعلة في معالجة أمراض معينة لم نجد لها علاجاً من قبل. لذا، فإننا سنتطرق لاحقاً إلى القيود التي تحد الاستراتيجيات التقليدية في اكتشاف الأدوية، وطبيعة التقنيات الحيوية الناشئة، وتأثير هذه التقنيات الناشئة في اكتشاف الأدوية وفي صناعة الأدوية عامة.

النتائج المتراجعة للاستراتيجيات التقليدية في اكتشاف العقاقير الدوائية

لِمَ تبدو الصناعة الدوائية غير قادرة على تطوير أعداد كافية من العقاقير الجديدة ذات القيمة الفائقة لتلبية احتياجاتها في النمو؟ من أهم الأسباب في هذا الصدد أن الاستراتيجيات والتقنيات التقليدية في اكتشاف العقاقير الدوائية المبنية على الجزيئيات الصغيرة قد بلغت مداها ولم تعد قادرة على التوصل إلى كيانات كيميائية جديدة. غير أن تقنيتي تأشيب الدَّنا والأجسام المضادة الوحيدة النسيلة (التي نناقشها في القسم التالي) أدتا إلى إطلاق عدد متزايد من العقاقير البروتينية والعقاقير ذات الجزيئيات الكبيرة سنوياً. غير أن هذه الأدوية تعكف على تطويرها شركات التقنية الحيوية لا الشركات الدوائية العملاقة. وفي بعض الحالات، تدخل الشركات الدوائية العملاقة في شراكة مع شركات التقنية الحيوية لتطوير الأدوية ذات الجزيئيات الكبيرة وتسويقها بشكل مشترك. وقد تعمد الشركات الدوائية العملاقة إلى شراء حصة مُسيطرة في شركات التقنية الحيوية المنتجة

لأدوية ذات جزيئيات كبيرة [13]، وقد تعمد في بعض الأحيان إلى شراء شركات التقنية الحيوية [14]. غير أن العائدات المتحققة للشركات الدوائية العملاقة من أدوية الجزيئيات الكبيرة لا تعوض عجزها في تطوير كيانات كيميائية جديدة. وإلى أن يتم تطوير طرائق مُحسَّنة لتناول العقاقير ذات الجزيئيات الكبيرة، مثل تناولها عن طريق الاستنشاق أو بطرق باضِعَة أخرى، وربما لاحقاً عن طريق المعالجة الجينية، فإن العقاقير ذات الجزيئيات الصغيرة التي يتم تناولها عن طريق الفم ستبقى المفضلة لمعالجة معظم الأمراض، نظراً إلى سهولة تناولها، وسلامتها، وتكلفتها المتدنية.

وبرغم الاستثمارات الضخمة للصناعة الدوائية في الجينوميات والتقنيات المتقدمة لاكتشاف العقاقير الدوائية الأخرى، فإن معظم الأدوية التي طُرحت في الأسواق في الأعوام الأخيرة كانت قد طُوِّرت بحسب الاستراتيجيات التقليدية، وربما اقترنت أحياناً بتطبيقات بحثية بيولوجية أو كيميائية ـ حيوية.

وتعتمد الطرائق التقليدية في اكتشاف الأدوية إلى حد بعيد على تعديل الأدوية المتوافرة والمختبرة للتوصل إلى أدوية مُرشحة، وربما اعتمدت في بعض الأحيان على مهارة خفية في اكتشاف الأدوية. وربما عززت البحوث البيولوجية والبحوث الكيميائية ـ الحيوية الجهود المبذولة في هذا السياق، مثل الكيمياء الحيوية وبيولوجية المُستقبِلات والأنزيمات. وتستهدف الأدوية التي يتم تسويقها في الوقت الحاضر – وهي التي تم تطويرها بحسب الطرائق التقليدية ما خلا عدداً قليلاً من أدوية التقنية الحيوية – نحو خمسمائة جزيء. ويندرج معظم هذه الجزيئيات تحت مجموعة محدودة من العائلات البروتينية، ومنها: المُستقبلات المقرونة بالبروتين G، والقنوات الأيونيَّة، وبعض أنواع الأنزيمات، مثل البروتياز السيريني، ومُستقبِلات الهرمونات النووية، مثل المُستقبِلات الستيرويدية.[15] وتُعد المُستقبلات المقرونة بالبروتين G الأكثر استهدافاً بالنسبة إلى العقاقير الدوائية الحالية؛ حيث تشكل الأدوية التي تستهدف وهي المُستقبِلات نحو 60٪ من السوق الدوائية، وهي تحقق مبيعات تصل قيمتها إلى أكثر من 85 مليار دولار أمريكي.

واعتماداً على طرائق اكتشاف الأدوية التقليدية - وإن تعززت باستخدام تقنية الغربلة السريعة القادرة على غربلة عدد كبير من المركبات الكيميائية للتوصل إلى عقاقير دوائية محتملة ومرشَّحة (سنتطرق إليها لاحقاً في الملحق) - فإن الصناعة الدوائية لم تكن قادرة على زيادة الكيانات الكيميائية الجديدة في تسعينيات القرن المنصرم[16]. وكما رأينا سابقاً، فإن عدد الكيانات الكيميائية الجديدة المقدمة غير كافٍ لمحافظة الشركات الدوائية العملاقة على نموها، وخاصة أنها تواجه تحدياً متمثلاً في انتهاء براءات الاختراع المسجلة لأدويتها أو إخفاقها في المراحل المتقدمة من تطوير أدويتها. وقد يؤدي هذا الوضع إلى عجز في الأدوية التي هي قيد التطوير بكل ما لذلك من تبعات سلبية على أعمال هذه الشركات.

وربما نفهم من حقيقة أن الطرائق التقليدية المعتمدة في اكتشاف الأدوية تستهدف عدداً محدوداً من الأهداف الجزيئية أن هذه الطرائق قد تكون "محصورة" من حيث نوعية الأهداف التي تسعى لها. لذا، فإننا نرى الباحثين المختصين في اكتشاف العقاقير يتطلعون إلى التقنيات الحيوية الناشئة باهتمام لعلها تمكنهم من أن يسلطوا الضوء على مجموعة واسعة من الأهداف الدوائية، التي تُقدر بما بين خمسة آلاف هدف وعشرة آلاف في الجينوم البشري.

الثورة المستمرة في مجال التقنيات الجديدة الخاصة باكتشاف العقاقير الدوائية

الدنا المتأشبة وتقنية الأجسام المضادة الوحيدة النسيلة

بدأت انطلاقة التقنية الحيوية المعاصرة في منتصف سبعينيات القرن العشرين، وتحديداً مع تطور تقنية تأشيب الدنا والأجسام المضادة الوحيدة النسيلة (MAb). وبفضل التطورات المتلاحقة في هذين المجالين، وظهور فئة جديدة من "شركات التقنية الحيوية" في بداية ثمانينيات القرن نفسه تقريباً، رأينا في أسواقنا منتجات جديدة مبنية على التقنية الحيوية. وهذه المنتجات في مجملها عقاقير دوائية بروتينية، وهي إما أن تكون نسخة متأشبة

أو معدَّلة وراثياً من بروتينات طبيعية لتحل محل الأولى لقلتها أو لقابلية تلوثها فيروسياً، وإما أن تكون بروتينات علاجية غير معروفة من قبل. ومن أمثلة العقاقير البروتينية المتأشبة، المطورة لتحل محل عقاقير بروتينية سابقة وغير متأشبة، الأنسولين البشري المتأشب، وهرمونات النمو البشرية، والعامل VIII.[17] وتشمل البروتينات العلاجية الجديدة المطورة من خلال تقنية الدنا المتأشبة الإريثروبويَتين المتأشب ومنتجات الإنترفيرون لمعالجة مرض التصلب المتعدد.[18]

وبرغم بدء تطوير هذه العقاقير الدوائية وتسويقها منذ مطلع ثمانينيات القرن المنصرم، فإن طرح عقاقير بروتينية مبنية على تقنية تأشب الدنا مازال مستمراً في الوقت الراهن، ومن المتوقع أن يظل الأمر على أهميته في المستقبل. وهذا صحيح خاصة فيما يتعلق بتسريع وتيرة طرح عقاقير MAb جديدة في الأسواق. إن تطبيق تقنيات الدنا المتأشب المتقدمة على إنتاج عقاقير MAb مكّننا من تطوير الجيل الحالي من عقاقير MAb الفاعلة، وتتسم هذه العقاقير بتسلسلات بشرية برمتها أو في معظمها، مقارنةً مع النسخة السابقة وغير الناجحة منها التي كانت من أصول فأرية.

وندرج في الجدول (11-1) عقاقير مهمة مختارة مبنية على التقنية الحيوية تم طرحها في الأسواق في الأعوام الخمسة المنصرمة. وتُعد هذه العقاقير كافة (باستثناء عقار جليفيك Glivec/Gleevec ذي الجزيئات الصغيرة، والذي طورته شركة نوفارتس Novartis العملاقة وسنناقشه لاحقاً) عقاقير بروتينية مستمدة من تقنية الدنا المتأشبة أو تقنية الدنا المتأشبة مقرونةً بتقنية MAb. ويتم في الوقت الراهن تطوير المزيد من عقاقير MAb، وقد وصل تطوير بعضها إلى مرحلة متقدمة، بينما تم طرح بعضها في الأسواق عام 2003. ومن أهم المعالجات البروتينية المتأشبة التي تم طرحها في الأسواق مؤخراً عقار أرانيسب (Aranesp) (المركب داربيبوتين ألفا darbepoetin alfa) الذي طورته شركة أمجن (Amgen) والذي يُعد الجيل الثاني من الإريثروبويَتين المتأشب ويمكن أن يعطى للمريض بوتيرة أقل من العقار إيبوجين (Epogen) الذي طورته الشركة نفسها؛ ومنها أيضاً عقار

أميفيف (Amevive) (المركب أليفاسيبت Alefacept الـذي وافقـت عليـه هيئـة الغـذاء والدواء الأمريكية في كانون الثاني/ يناير 2003)، والذي يُعد أول معالجة بيولوجية لمـرض الصُّداف (الصدفية) يطرح في الأسواق.

الجدول (11-1)

مجموعة مختارة من أدوية التقنية الحيوية المهمة التي تم إطلاقها في الأعوام الخمسة الماضية

الدواء	الشركة	العلاج	نوع الجزيء
Amevive	*Biogen	الصُّداف (أو الصدفية)	بروتين متأشب (اندماج مع الغلوبين المناعي G1)
Enbrel	Amgen/Wyeth	التهاب المفاصل الرَّثْياني	بروتين متأشب (اندماج مع الغلوبين المناعي G1)
/Glivec Gleevec	Novartis	اللوكيميا النخاعية المزمنة، سرطان المعدة	جزيء صغير
Herceptin	Genentech/Roche	سرطان الثدي	MAb
Natrecor	Scios/Johnson & Johnson	قصور القلب الاحتقاني	بروتين متأشب
Remicade	Centocor/Johnson & Johnson	التهاب المفاصل الرَّثْياني، داء كرون (ما يُعرف باسم التهاب الأمعاء الانتهائي)	MAb
Rituxan	Idec/Genentech	الورم اللمفاوي اللاهودجكن	MAb

* انظر الهامش 20 في هذا الفصل حول اندماج بيوجين (Biogen) مع آيديك (Idec).
المصدر: مؤسسة Haberman Associates.

وباستثناء العقار جليفيك الـذي طورتـه شركـه نوفـارتس، فـإن العقـاقير الدوائيـة المدرجة في الجدول (11-1) كافة تم تطويرها على يد شركات تقنية حيوية، وليس شركـات دوائية. غير أن شركـة روش (Roche)، وبحكـم حـصتها المـسيطرة في شركـة جينيتيـك (Genentech)، تتولى تسويق عقار هيرسيبتين (Herceptin) الـذي تنتجـه الثانيـة خـارج الولايات المتحدة الأمريكية. بينما أضـحت شركـة سـينتوكور (Centocor) شركـةً تابعـةً

لشركة جونسون آند جونسون (Johnson & Johnson) العملاقة. كما تشترك شركة وايث (Wyeth) في تسويق العقار إنبريل (Enbrel) مع شركة أمجن العملاقة التي آل إليها العقار المذكور بعد شرائها للشركة المطوِّرة للعقار إميونيكس (Immunex). كما ستتولى شركة جونسون آند جونسون تسويق العقار ناتريكور (Natrecor) (المُركَّب نيسيريتيد Nesiritide) الذي طوَّرته شركة سيوس (Scios)، ويُعد عقاراً دوائياً بروتينياً متأشباً لمعالجة قصور القلب الاحتقاني الحاد وقد تم طرحه في الأسواق عام 2001، وذلك بعد شراء الشركة الأولى للشركة الثانية في نيسان/ إبريل 2003 في صفقة قيمتها 2.4 مليارا دولار أمريكي. وتدير شركة جونسون آند جونسون شركة سيوس كشركة تابعة لها، مثلها في ذلك مثل شركة سينتوكور. وبهذه الطريقة تحقق الشركات الدوائية العملاقة لنفسها عائدات من العقاقير الدوائية المدرجة في الجدول (11-1).

الجينوميات والبروتينيات والتقنيات الأخرى المتقدمة في اكتشاف العقاقير الدوائية

ظهرت في تسعينيات القرن الفائت ومطلع القرن الحالي مجموعة من التقنيات المُكَمِّلة التي أحدثت، ومازالت تحدث، انقلاباً في الممارسات والإجراءات المتعلقة باكتشاف العقاقير الدوائية. وتتضمن هذه التقنيات: الجينوميات، والبروتينيات، والجينوميات الوظيفية، والبروتينيات الوظيفية، والكيمياء التوافقِيَّة، والغربلة الفائقة، وتصميم العقاقير الدوائية بطريقة بنيوية، والمعلوماتية الحيوية، والتقنيات ذات الصلة بذلك.[19] وتعد هذه التقنيات، الأتمتة والمُنَمْنَمات (أو المُصَغَّرات) والتوازيات، مهمة من أجل زيادة سرعة عمليات مثل تسلسل الجينومات وتصنيع المركبات والغربلة والتحليلات وفاعليتها، علاوةً على خفض تكلفة الوحدة الواحدة لكلٍّ من هذه العمليات.

إن مفهوم "الغربلة الفائقة" (بمعنى القدرة على تحليل عدد ضخم من الوحدات في المرة الواحدة، كأن نجري 100,000 تحليل في اليوم الواحد في عملية غربلة دوائية فائقة إلى حد بعيد) مهم في سياق حديثنا عن تقنيات اكتشاف العقاقير الدوائية. وهذا ما جعل عدداً

من الشركات والمهتمين بشؤون الصناعة الدوائية يتحدثون عن "السمة الصناعية لعملية اكتشاف العقاقير الدوائية". وفي العادة تُستخدم التقنيات ضمن هذه المجموعة معاً، كجزء من العمليات الصناعية، لزيادة فاعلية عمليات اكتشاف العقاقير الدوائية ذات الطبيعة الجينومية. وسنتطرق بشكل موجز في ملحق هذا الكتاب إلى أهم التقنيات المتقدمة في اكتشاف العقاقير الدوائية.

تأثير التقنيات الجديدة في بنية الصناعة الدوائية

لم يؤد تطبيق تقنية الدنا المتأشبة إلى ظهور فئة غير مسبوقة من العقاقير الدوائية فحسب، بل إلى مجموعة من الشركات المنافسة للشركات الدوائية العملاقة. وحقق الكثير من هذه الشركات نجاحاً مشهوداً ونمواً ملحوظاً، حتى إننا نشير إليها في العادة على أنها "شركات التقنية الحيوية العملاقة". وتتضمن هذه الشركات أمجن، وجينينتيك (التي تملك غالبيتها الشركة الدوائية العملاقة روش، غير أنها تُدار بشكل مستقل كشركة مساهمة عامة)، وشيرون (Chiron)، وبيوجين (Biogen)[20] وجينزيم (Genzyme). لقد بدأت هذه الشركات كافة كشركات ناشئة محدودة مدعومة برؤوس الأموال المغامرة في أواخر سبعينيات القرن الفائت وأوائل ثمانينياته، ثم نمت يوماً بعد آخر لتصبح شركات مساهمة عامة عملاقة ومُربحة، لها منتجاتها المطروحة في الأسواق، التي حقق بعضها مبيعات ضخمة. غير أن هناك شركات تقنية حيوية انطلقت في الوقت نفسه ولم تحقق نجاحاً يُذكر، فبعضها اشترته شركات عملاقة، وبعضها الآخر أغلق أبوابه، أما الشركات المتبقية منها فظلت محدودة وربما سعت لأن تغير أعمالها. ومن هذه الشركات شركة تدعى شركة كاليفورنيا للتقنية الحيوية (California Biotechnology) تحولت لاحقاً إلى شركة سيوس (Scios) التي غيرت بدورها طبيعة أعمالها بما يتوافق مع ما كان سائداً في نهاية تسعينيات القرن الفائت ومطلع القرن الحالي. وكما ذكرنا سابقاً، فإن سيوس (وهي شركة تابعة لشركة جونسون آند جونسون بدءاً من نيسان/ إبريل 2003) قد أطلقت عام 2001 عقاراً دوائياً ناجحاً مبنياً على تقنية الدنا المتأشبة، وهو عقار ناتريكور. ولا تعتمد الشركة

المذكورة في معظم أبحاثها الراهنة على تقنية تأشب الدنا بطريقة مباشرة، بل على الجينوميات والكيمياء التوافقيَّة والدراسات الخاصة بمسارات محوِّلات الإشارات. وتشير "مسارات محوِّلات الإشارات" إلى مسارات كيميائية ـ حيوية متداخلة تتحكم باستجابات الخلايا لبيئتها، بالإضافة إلى الظروف الأخرى المرتبطة بالفسيولوجيا الخلوية.

ولم تَغِب الصفقات الاندماجية عن شركات التقنية الحيوية العملاقة؛ إذ اشترت شركة أمجن شركة إميونيكس، وهي شركة تقنية حيوية عملاقة، عام 2002. وفي تسعينيات القرن الفائت اشترت شركة روش شركة جينينتيك، غير أنها أبقتها شركة عامة مساهمة، لها إدارتها المستقلة وحصتها المُسيطرة فيها. وفي تسعينيات القرن الفائت أيضاً اشترت شركة أمريكان هوم برودتكس (American Home Products)، التي تُعرف الآن باسم وايث، مؤسسة جينيتكس إنستيتيوت.

لقد أعطت شركات التقنية الحيوية الأولى المبنية على تقنية تأشب الدنا، والتي انطلقت في أواخر سبعينيات القرن الفائت وأوائل ثمانينياته، نموذجاً لما ستكون عليه "شركة التقنية الحيوية"، وهو ما ينطبق على الشركات اللاحقة المبنية على تقنية الجينوميات والبروتينيات والكيمياء التوافقية والعلوم البيولوجية والكيميائية المتقدمة، مثل مسارات مُحولات الإشارات، والهندسة النسيجية، وتصميم العقاقير الدوائية البنيوية، وغيرها. ويطور الكثير من هذه الشركات عقاقير دوائية ذات جزيئيات صغيرة مثلها في ذلك مثل الشركات الدوائية العملاقة. غير أنها تستغل التقنيات المملوكة لها والمسجلة باسمها (وهي مستمدة في العادة من مختبرات أكاديمية) لتطوير علاجات مبنية على الجزيئيات الصغيرة. بل إن شركات التقنية الحيوية المعنية بتأشب الدنا بدأت تتجه نحو تقنيات اكتشاف العقاقير الدوائية ذات الجزيئيات الصغيرة.

وتسعى الشركات الدوائية العملاقة من جهتها للاستفادة من الجينوميات والتقنيات المتقدمة في اكتشاف العقاقير الدوائية لتطوير عقاقير ذات جزيئيات صغيرة، كما أوضحنا

سابقاً، بل إنها تعتمد على هذه الاستراتيجية لزيادة العقاقير الدوائية التي هي قيد التطوير في مختبراتها. وتنفذ الشركات الدوائية العملاقة إلى هذه التقنيات بطريقتين: أولاهما استثمار مبالغ ضخمة لبناء منشآت ملحقة بها معنية بالجينوميات والبروتينيات وتقنيات الغربلة الفائقة، وثانيتهما شراء شركات التقنية الحيوية الصغيرة أو الدخول في شراكة معها. ولأسباب سنناقشها لاحقاً فإن شركات التقنية الحيوية تبدو أكثر إنتاجيةً في اكتشاف العقاقير الدوائية من الشركات الدوائية العملاقة. غير أن الأخيرة أقوى في مجال الاختبارات السريرية، لجهة امتلاكها للأموال الضخمة اللازمة للاختبارات السريرية، والخبرة العلمية، والقدرة التسويقية. وهذا ما حدا بالكثير من المتابعين لشؤون الصناعة الدوائية إلى وصف شركات التقنية الحيوية بأنها رحم الاكتشافات لشركات الصناعة الدوائية.

وقد تدخل الشركات الدوائية العملاقة في شراكة مع شركات التقنية الحيوية في أي مرحلة من مراحل تطوير العقاقير الدوائية. ولا يجعل هذا الأمر شركات التقنية الحيوية منافسةً للشركات الدوائية العملاقة فحسب، بل متعاونةً معها تساعدها في تطوير عقاقير دوائية معينة. وقد تتضمن اتفاقيات التعاون بين شركات التقنية الحيوية والشركات الدوائية الأمور الآتية:

- حق النفاذ إلى الأهداف الدوائية التي تم التحقق منها؛ وهنا تغربل الشركات الدوائية العملاقة جميعتها من المركبات الدوائية مقابل هذه الأهداف.
- التطوير المشترك للعقاقير الدوائية التي تم اكتشافها في الأصل على يد شركات التقنية الحيوية عبر الاختبارات السريرية.
- اتفاقيات لتسويق العقاقير الدوائية بشكل مشترك؛ بحيث تستفيد شركة التقنية الحيوية الصغيرة من القدرات التسويقية للشركة الدوائية العملاقة بهدف زيادة مبيعاتها من الدواء الذي نجحت في تطويره.

وفي العادة، تحصل شركة التقنية الحيوية بموجب اتفاقيتها مع شركة دوائية عملاقة ما على السيولة النقدية التي تحتاج إليها، كما يمكنها الاطلاع على التجارب السريرية التي

تجريها الشركة الدوائية العملاقة، والاستفادة من قدرتها التصنيعية والتسويقية، فضلاً عن الاستفادة من مكانة الشركة الدوائية العملاقة وهيبتها في الصناعة الدوائية، وهذا كله يعزز قيمة شركة التقنية الحيوية حتى قبل أن تطرح أياً من منتجاتها في الأسواق. ولكن بالمقابل فإن شركة التقنية الحيوية الموقعة على اتفاقية مع شركة دوائية عملاقة تفقد في العادة سيطرتها على تطوير الدواء المتفق عليه، وعليها أن ترضى بدفعة نقدية تُدفع مقدماً، ودفعات لاحقة مرتبطة بتحقيق إنجازات بحثية تلفت النظر، ودفعات مقابل حقوق الملكية، غير أن ذلك جميعه لا يمثل إلا جزءاً يسيراً من مبيعات الدواء الذي هو قيد التطوير، على حين تأخذ الشركة الدوائية العملاقة لنفسها نصيب الأسد من عائدات هذا الدواء. وفي الأعوام الأخيرة، عقدت شركات التقنية الحيوية اتفاقيات مع شركات دوائية عملاقة تعطيها الحق في حصة كبرى من الأرباح المحتملة لدواء ما، وذلك وفقاً لما يُعرف باسم اتفاقيات "المخاطر المشتركة"؛ بحيث تشترك شركة التقنية الحيوية في نفقات تطوير الدواء مع الشركة الدوائية العملاقة وفي المخاطر المترتبة على ذلك، وكذلك في الجهود التصنيعية والترويجية ومن ثم العائدات المحتملة.

وفي حالات معينة، فإن شركة التقنية الحيوية قد تحتاج إلى السيولة النقدية الإضافية و/ أو الخبرة التطويرية والتسويقية لتطوير دواء ما وتسويقه بشكل فاعل، غير أنها قد تمضي في جهودها من دون الحاجة إلى إقامة تحالف مع شركة دوائية عملاقة على الإطلاق، فيعطيها هذا سيطرة كاملة على منتجاتها وحصة عظيمة من أرباحها. وقد تلجأ شركة تقنية حيوية إلى أن تتحالف مع شركة تقنية حيوية أخرى، لا شركة دوائية عملاقة. وعلى سبيل المثال، في عام 2000، شكلت مؤسسة تكساس للتقنية الحيوية (Texas Biotechnology Corporation) (التي أضحت تُعرف باسم إنسايسيف الدوائية (Encysive Pharmaceuticals) منذ أيار/ مايو 2003) وشركة آيكوس Icos شركة مشتركة بنسبة 50:50 عُرفت باسم آيكوس - تي بي سي Icos-TBC، وذلك لتسويق مركبات تُعرف باسم "مضادات مُستقبِلات الإندوثلين" التي طورتها في الأصل مؤسسة تكساس للتقنية الحيوية لمعالجة

قصور القلب الاحتقاني وعدد من أمراض القلب والأوعية الدموية. وكان الهدف من هذه الشراكة المحدودة التعجيل بتطوير هذه المركبات أولاً، وتعزيز الحملة التسويقية، والمشاركة في الأرباح المتحققة من هذه السوق الدوائية الضخمة، مثلما تفعل الشركات الدوائية العملاقة ثانياً. غير أن مؤسسة تكساس للتقنية الحيوية اشترت في نيسان/ إبريل 2003 حصة شركة آيكوس مقابل دفعات نقدية متلاحقة، فأعاد لها ذلك سيطرتها على مضادات مُستقبِلات الإندوثلين التي طورتها في الأصل.

وقد تبرم شركة التقنية الحيوية اتفاقيةً تسويقيةً مشتركةً مع شركة مبيعات تعاقدية؛ بحيث تتولى شركة المبيعات التعاقدية مهمة استقطاب فريق المبيعات وتدريبه وإدارته ليتولى هو بدوره تسويق الدواء الجديد، على أن تتحمل شركة المبيعات التعاقدية جزءاً من المخاطرة (كأن تستثمر في العملية التسويقية أو أن تقدم قرضاً مبدئياً لشركة التقنية الحيوية) مقابل حصولها على حصة من الأرباح المحتملة. وفي المقابل، تحتفظ شركة التقنية الحيوية بسيطرتها على الدواء وتحقق لنفسها حصةً عظيمةً من الأرباح تفوق ما قد تحققه في حال إبرامها اتفاقية تسويقية مشتركة مع شركة دوائية عملاقة. وقد تعمد شركة التقنية الحيوية إلى السيطرة على فريق المبيعات لاحقاً كما فعلت شركة سيوس في حزيران/ يونيو 2003. وكانت شركة إنوفيكس قد وقعت اتفاقيةً مشابهةً مع شركة سي في ثيرابيوتكس (CV Therapeutics) لتسويق دواء لمعالجة أمراض القلب والأوعية الدموية، هو رانيكسا (Ranexa) (المُركَّب رانولازين ranolazine)، الذي تنظر الآن هيئة الغذاء والدواء الأمريكية في طلب الموافقة عليه وتسجيله بعد أن أنهى المرحلة الثالثة من التجارب السريرية لمعالجة الذبحة الصدرية. غير أن الشركتين عدلتا في تموز/ يوليو 2003 بنود الاتفاقية المبرمة بينهما؛ بحيث تُعطى شركة سي في ثيرابيوتكس الحقوق التجارية الكاملة لعقار رانيكسا (بما في ذلك أن تتولى الشركة بنفسها استقطاب فريق المبيعات وتدريبه). ووفقاً للاتفاقية المعدَّلة، ستواصل شركة سي في ثيرابيوتكس علاقتها التجارية مع شركة إنوفيكس فيما يتعلق بالعقار رانيكسا.

أما شركات التقنية الحيوية، وخاصة الشركات الجينومية، التي تعتمد في أعمالها اعتماداً تاماً على العلاقة التعاونية مع الشركات الدوائية العملاقة، فقد بدأت تغير استراتيجيتها بحيث تعتمد على نفسها في تطوير العقاقير الدوائية الخاصة بها. فعلى سبيل المثال، قامت شركة ميلينيوم الدوائية (Millennium Pharmaceuticals)، التي حصرت كل أنشطتها في السابق في إبرام اتفاقيات تعاونية مع شركات دوائية عملاقة، بشراء أكثر من شركة للتعجيل بانتقالها إلى مرحلة تطوير عقاقير دوائية خاصة بها. ولعل أهم شركتين قامت بشرائهما هما لوكوسايت (LeukoSite) عام 1999 وكور ثيرابيوتكس (COR Therapeutics) في عام 2002. أما الآن فإن مصدر العقارين الدوائيين اللذين تسوقهما شركة ميلينيوم الدوائية وجميع الأدوية التي وصلت إلى مرحلة التجارب السريرية، باستثناء واحد منها، هو الشركتان المذكورتان.

أما من حيث طبيعة الأعمال، فإن شركات التقنية الحيوية تنقسم إلى قسمين عامين: شركات اكتشاف/ تطوير العقاقير الدوائية وشركات النظم التقنية، وقد تتداخل الاختصاصات في بعض الأمثلة. وتهدف شركات اكتشاف/ تطوير العقاقير الدوائية إلى تطوير الأدوية وتسويقها، إما وحدها، وإما من خلال شراكات (تُقام في العادة مع الشركات الدوائية العملاقة، وفي بعض الأحيان مع شركات تقنية حيوية مماثلة). وندرج في الجداول (11-2) و(11-3) و(11-4) أمثلة على الأنواع المختلفة من شركات التقنية الحيوية.[21]

وتضم الجداول المذكورة شركات التقنية الحيوية العملاقة (وهي جميعها معنية باكتشاف/ تطوير العقاقير الدوائية، ولها عقاقير دوائية مطروحة في الأسواق مبنية في معظمها على تقنية تأشب الدنا و/ أو تقنية MAb، غير أنها بدأت تطور عقاقير دوائية ذات جزيئيات صغيرة أيضاً)، وشركات التقنية الحيوية الصغرى المعنية باكتشاف/ تطوير العقاقير الدوائية، وشركات التقنية الحيوية المتخصصة في النظم التقنية.

الجدول (11-2)

شركات التقنية الحيوية العملاقة

الشركة	عنوانها
Amgen	ثاوزند أوكس، كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية
Genentech	ساوث سان فرانسيسكو، كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية
Biogen*	كمبردج، ماساشوستس، الولايات المتحدة الأمريكية
Chiron	إميريفيل، كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية
Genzyme	كمبردج، ماساشوستس، الولايات المتحدة الأمريكية

* انظر الهامش 20 في هذا الفصل حول اندماج بيوجين مع آيديك.

المصدر: مؤسسة Haberman Associates.

الجدول (11-3)

مجموعة من شركات التقنية الحيوية الصغيرة العاملة في اكتشاف العقاقير الدوائية وتطويرها

الشركة	عنوانها	ملاحظات
CV Therapeutics	بالو ألتو، كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية	شركة مُطوِّرة لأدوية أمراض القلب والأوعية الدموية، وقد وصلت إلى مرحلة متقدمة في تطوير الكثير من الأدوية.
Human Genome Sciences	روكفيل، مريلاند، الولايات المتحدة الأمريكية	شركة متخصصة في الجينومات، وهي تطور عقاقير بروتينية بفعل الهندسة الجينية.
Icos	بوثيل، واشنطن، الولايات المتحدة الأمريكية	شركة متخصصة في مُحوِّلات الإشارات والالتحامات الخلوية، وقد طوَّرت دواء لمعالجة العجز الجنسي عند الرجال (بمشاركة شركة ليللي Lilly العملاقة)، وقد أطلقت هذا الدواء في يناير/ كانون الثاني 2003 في أوربا، وهي تنتظر موافقة هيئة الدواء والغذاء الأمريكية على الدواء.
Ligand Pharmaceuticals	سان دييغو، كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية	شركة متخصصة في بيولوجيا المُستَقْبِلات الستيرويديّة وكيميائيتها وغيرها من المستقبلات النووية، وهي متخصصة أيضاً في محوِّلات الإشارات، وهي تقوم بتسويق بعض عقاقيرها الدوائية.

Millennium Pharmaceuticals	كمبردج، ماساشوستس، الولايات المتحدة الأمريكية	شركة جينومية، تقوم بتسويق بعض عقاقيرها الدوائية، وقد وصلت إلى مرحلة متقدمة في تطوير أدوية أخرى من خلال امتلاكها شركتي لوكوسايت وكور ثيرابيوتكس.
Myriad Genetics	سولت ليك سيتي، يوتاه، الولايات المتحدة الأمريكية	شركة جينومية، تقدم خدماتها التشخيصية الجينية، وقد بدأت في تطوير عقاقير دوائية ذات جزيئات صغيرة.
Scios	سانيفيل، كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية	شركة متخصصة في الجينوميات الوظيفية ومُحوِّلات الإشارات، تقوم بتسويق بعض العقاقير الدوائية المبنية على تأشب الدنا، استحوذت شركة جونسون آند جونسون على هذه الشركة في نيسان/ إبريل 2003.
Sugen	ساوث سان فرانسيسكو، كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية	شركة متخصصة في مُحوِّلات الإشارات، استحوذت عليها شركة فارماسيا وأدارتها كشركة تابعة لها.
Vertex Pharmaceuticals	كمبردج، ماساشوستس، الولايات المتحدة الأمريكية	شركة متخصصة في تصميم العقاقير الدوائية البنيوية، تقوم بتسويق أحد الأدوية التي طورتها.

المصدر: مؤسسة Haberman Associates.

الجدول (4-11)

مجموعة من شركات التقنيات الحيوية المطوِّرة للأدوات المتخصصة

الشركة	عنوانها	ملاحظات
Affymetrix	سانتا كلارا، كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية	شركة متخصصة في الجينوميات الوظيفية، وهي الشركة الرائدة عالمياً في مجال الرقاقات الجينية.
Applied Biosystems	فوستر سيتي، كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية	تطور الشركة أدوات جينومية متقدمة، مثل مُسَلْسِلات الدنا ونظم قياس طيف الكتلة المعتمدة في مبحث البروتينيات.
ArQule	ميدفورد، ماساشوستس، الولايات المتحدة الأمريكية	شركة متخصصة في الكيمياء التوافقيَّة.

Celera Genomics	روكفيل، مريلاند، الولايات المتحدة الأمريكية	شركة جينومية، قامت بوضع تسلسل الجينوم البشري وعدد من الكائنات الحية النموذجية، أعادت هيكلة أعمالها لتصبح شركة متخصصة في اكتشاف العقاقير الدوائية وتطويرها.
CuraGen	نيو هايفين، كونيكتيكت، الولايات المتحدة الأمريكية	شركة متخصصة في الجينوميات والبروتينيات والجينوميات الوظيفية، وهي في طور التحول إلى شركة متخصصة في اكتشاف العقاقير الدوائية وتطويرها.
Incyte Genomics	بالو ألتو، كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية	شركة متخصصة في الجينوميات والبروتينيات، وهي في طور التحول إلى شركة متخصصة في اكتشاف العقاقير الدوائية وتطويرها.
Large-Scale Biology	فاكافيل، كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية	شركة متخصصة في البروتينيات.
Lexicon Genetics	ذي وودلاندز، تكساس، الولايات المتحدة الأمريكية	شركة متخصصة في الجينوميات الوظيفية، وتقنية الفئران المنقوصة جينياً.
LION Bioscience	هايدلبيرغ، ألمانيا	شركة متخصصة في المعلوماتية الحيوية.
Pharmacopeia	برنستون، نيوجيرسي، الولايات المتحدة الأمريكية	شركة متخصصة في الكيمياء التوافقية.
Variagenics	كمبردج، ماساشوستس، الولايات المتحدة الأمريكية	شركة متخصصة في الجينوميات الدوائية، اندمجت مع هايسيك (Hyseq)، وهي شركة تقنية حيوية، في شباط/ فبراير 2003، لتشكل الشركتان معاً شركة نوفيلو (Nuvelo) المتخصصة في اكتشاف وتطوير المنتجات العلاجية والتشخيصية.

ملاحظة: أشرنا آنفاً إلى أمثلة من التحالفات الاستراتيجية وإعادة الهيكلة الاستراتيجية التي مكنت الشركات المتخصصة في تطوير "أدوات" التقنية الحيوية من الانتقال إلى مجال اكتشاف العقاقير الدوائية وتطويرها. غير أن الكثير من الشركات المدرجة في هذا الجدول تعمل بشكل أو بآخر في اكتشاف العقاقير الدوائية وتطويرها. وتتحقق العائدات الأساسية للشركات المدرجة في الجدول من تسويق نظم أو معلومات تقنية و/ أو التعاون مع أطراف آخرين في هذا المجال.

المصدر: مؤسسة Haberman Associates.

أما شركات التقنية الحيوية المتخصصة في تطوير النظم التقنية فتحقق عائداتها من تسويق النظم والمعلومات و/ أو الخدمات ذات الطبيعة التقنية. وتتداخل شركات التقنية الحيوية، التي تطور النظم التقنية وتقدم خدماتها إلى الشركات الدوائية العملاقة وفي بعض الأحيان إلى شركات التقنية الحيوية المعنية باكتشاف/ تطوير العقاقير الدوائية، مع شركات اكتشاف/ تطوير العقاقير الدوائية التي تطور أدويتها بالتعاون مع الشركات الدوائية العملاقة. وقد تدخل هذه الشركات المعنية بتطوير النظم التقنية في اتفاقيات مع الشركات الدوائية العملاقة، يتعين بموجبها على الطرف الثاني أن يقدم للطرف الأول دفعات نقدية مقدمة، ودفعات مرهونة بالإنجازات المتحققة، ودفعات مقابل حقوق ملكية النظم التقنية على أي دواء يطوره الطرف الأول بالاستعانة بتقنية الطرف الثاني.

وقد نزعت شركات التقنية الحيوية المتخصصة في تطوير النظم التقنية في الأعوام الأخيرة إلى أن تصبح شركات اكتشاف/ تطوير عقاقير دوائية، تسعى وحدها لأن تطوِّر عقاقير دوائية. والسبب من وراء ذلك هو سعيها لتحقيق أكبر قدر من عائدات الدواء الجديد لنفسها، لا أن تكتفي بدفعات محدودة مقابل تقديم المنتجات أو الخدمات التقنية، أو بالدفعات النقدية المدفوعة لها مقدماً، أو بالدفعات اللاحقة المرهونة بالإنجازات، أو تلك المترتبة على ملكيتها للمنتجات أو الخدمات التقنية، ما دامت هذه الدفعات مجتمعة تشكل قدراً ضئيلاً من العائدات المتحققة من تسويق دواء ناجح. وبالإضافة إلى ذلك، فقد أدت المنافسة المحتدمة بين شركات التقنية الحيوية المتخصصة في تطوير النظم التقنية، والتي تقدم حلولاً متشابهةً لأقسام البحث والتطوير في الشركات الدوائية العملاقة، إلى أن تفقد خدمات هذه الشركات جزءاً من قيمتها السوقية، بل قد تهدد هذه المنافسة الشديدة بقاء مثل هذه الشركات. وبطبيعة الحال، فإن تحول هذه الشركات نحو اكتشاف/ تطوير العقاقير الدوائية يجعلها تتحمل قدراً أكبر من المخاطرة المرتبطة بتطوير العقاقير الدوائية.

إن تحوُّل شركات التقنية الحيوية المتخصصة في تطوير النظم التقنية إلى شركات متخصصة في اكتشاف العقاقير وتطويرها عملية صعبة من الناحية الاستراتيجية

والتنظيمية. وقد تستلزم هذه النقلة النوعية منح رخص عقاقير الشركة الأولى التي هي قيد التطوير لشركات أخرى، وشراء شركات تقنية حيوية مماثلة تملك تقنيات و/ أو عقاقير دوائية ضرورية للمحافظة على استراتيجية الشركة. وعلى سبيل المثال، فإن شركة سيليرا جينوميكس (Celera Genomics) - التي تعد واحدة من أهم الشركات المسوِّقة للمعلومات الجينومية للشركات الدوائية العملاقة وشركات تطوير العقاقير الدوائية الأخرى - قد أعادت هيكلة أعمالها لتصب اهتمامها على اكتشاف العقاقير الدوائية وتطويرها، ثم قامت بشراء شركة أكسيس الدوائية (Axys Pharmaceuticals) لتكون لديها القدرة على تطوير عقاقير ذات جزيئات صغيرة، ثم قامت مؤخراً بشراء حقوق مركبات في مرحلة ما قبل التجارب السريرية لمعالجة داء الرَّبو من شركة باير (Bayer) العملاقة (تم تطويرها في الأصل وفقاً لاتفاقية تعاونية بين شركتي أكسيس الدوائية وباير). ومازالت شركة سيليرا في خضم هذه النقلة النوعية في أعمالها.

كما أن تحوُّل شركات التقنية الحيوية المتخصصة في تطوير النظم التقنية إلى شركات متخصصة في اكتشاف العقاقير وتطويرها لهو مثال على سعي شركات التقنية الحيوية للاحتفاظ بالقدر الأكبر من قيمة العقاقير المطورة، وقد رأينا ذلك في اتفاقيات "المخاطر المشتركة" بين شركات التقنية الحيوية والشركات الدوائية العملاقة، والاتفاقيات المبرمة بين شركات التقنية الحيوية نفسها، والاتفاقيات التسويقية المشتركة مع شركات المبيعات التعاقدية. إن نجاح شركة التقنية الحيوية في تنفيذ أي من هذه الاستراتيجيات سيعزز مكانتها في منافستها مع الشركات الدوائية العملاقة. بل قد يؤدي ذلك في بعض الأحيان إلى تحول شركة التقنية الحيوية إلى شركة ضخمة متكاملة ومتخصصة في تطوير العقاقير الدوائية وتسويقها، وإلى أن تحقق أرباحاً ضخمة، وهذا هو حال شركات التقنية الحيوية العملاقة اليوم. وهذا هو هدف شركات عدة من بينها على سبيل المثال شركة ميلينيوم الدوائية وشركة هيومان جينوم ساينسيز (Human Genome Sciences).

ولا يخلو بروز صناعة التقنية الحيوية وإنتاجيتها وسعيها لتعزيز مكانتها التنافسية مقابل الشركات الدوائية العملاقة من الانعكاسات على البنية المستقبلية للصناعة الدوائية وصناعة التقنية الحيوية. ووفقاً لدراسة نشرها مركز تفتس لدراسة تطوير الأدوية في حزيران/ يونيو 2000، فإن الاندماجات بين الشركات الدوائية الكبيرة قد قللت عدد هذه الشركات وخلقت شركات دوائية عملاقة ذات ميزانيات بحثية وتطويرية غير مسبوقة، ولكن برغم ذلك فإن عدد الشركات التي حصلت على موافقة هيئة الغذاء والدواء الأمريكية على طلبات تسجيل عقاقير دوائية جديدة خلال تسعينيات القرن المنصرم قد ازداد على نحو غير متوقع.[22] وبحسب الدراسة نفسها فإن حصة أكبر أربع شركات دوائية عملاقة من موافقات هيئة الغذاء والدواء الأمريكية قد تراجعت من 30٪ في ستينيات القرن المنصرم إلى 18٪ في تسعينيات القرن نفسه. وقد تم رصد التوجه نفسه عند دراسة أكبر ثماني شركات دوائية، أو تحليل الموافقات الممنوحة لفئات علاجية معينة (مثل الأورام أو أمراض القلب والأوعية الدموية). أما عدد الشركات التي حصلت على موافقات على طلباتها لدى هيئة الغذاء والدواء الأمريكية فقد ازداد بنسبة 84٪ من سبعينيات القرن المنصرم إلى تسعينيات القرن نفسه. فمن بين كل 50 شركة حصلت على موافقة هيئة الغذاء والدواء الأمريكية على طلبها خلال تسعينيات القرن الفائت، كان هناك 41 شركة تحصل على مثل هذه الموافقة أول مرة، ومعظم هذه الشركات من شركات التقنية الحيوية التي هي في مرحلة التطور.

أما من جهة بنية الصناعة الدوائية/ صناعة التقنية الحيوية، فإن هذه التوجهات تشير إلى أن الشركات الدوائية العملاقة ستكون معدودة مقارنة بأي وقت مضى، بل قد تحدث اندماجات لاحقة بين الشركات الدوائية العملاقة نفسها، وبرغم هذا وذاك ستبقى هناك شركات صغيرة مبتكرة، معظمها يمكن تصنيفه على أنه شركات تقنية حيوية. وما لم تغير الشركات الدوائية العملاقة ثقافتها بطريقة تجعلها مبتكرةً، وما لم تطور هذه الشركات استراتيجيات تقنية تمكنها من الاستفادة من تقنيات اكتشاف العقاقير الدوائية الجديدة

بطريقة أكثر فاعلية، فإنه من المرجح أن تجد الشركات الدوائية العملاقة نفسها يوماً ما أكثر اعتماداً على شركات التقنية الحيوية في اكتشاف العقاقير الدوائية الجديدة. ومن شأن ذلك أن يعزز مكانة شركات التقنية الحيوية وأن يجعل الشركات الدوائية العملاقة شركات تطويرية وتصنيعية وتسويقية متخصصة. بل قد تلجأ الشركات الدوائية العملاقة إلى التعاقد مع مؤسسات بحثية تعاقدية للقيام ببعض أدوارها، بل مع مؤسسات تصنيعية أيضاً، وهذا ما يحدث في الوقت الراهن بالفعل. وقد تلجأ الشركات الدوائية العملاقة إلى شراء شركات التقنية الحيوية التي تملك عقاقير دوائية مطروحة باسمها أو الشركات التي وصلت إلى مرحلة متقدمة من تطوير عقاقير معينة.

وقد تصبح شركات التقنية الحيوية أكبر حجماً من خلال شرائها شركات أخرى أو توسعها داخلياً لتنضم إلى شركات التقنية الحيوية العملاقة. وسيكون في وسع الكثير من شركات التقنية الحيوية الصغيرة والكبيرة – وخاصة أن بعضها قد أقام تحالفات مع شركات تقنية حيوية مماثلة بينها تبنى بعضها الآخر استراتيجيات لتعزيز مكانته – أن يطور (بحسب المجالات العلاجية المختلفة) عقاقير دوائية ويسوقها من دون الحاجة إلى عقد اتفاقية شراكة مع الشركات الدوائية العملاقة. وستتولى شركات التقنية الحيوية تطوير الكثير من منتجات الرعاية الصحية التي تُعد صغيرةً وغير ملائمة لتتولاها الشركات الدوائية العملاقة، وسيكون في وسعها أيضاً أن توسّع حجم السوق لمثل هذه العقاقير الدوائية من خلال التجارب السريرية اللاحقة. وقد تقودنا الجينوميات الدوائية نحو تطوير الكثير من العقاقير الدوائية المحدودة النطاق، وقد تجعل الجينوميات الدوائية بعض التجارب السريرية أقل تكلفةً لأنها ستستهدف جماعات محدودة من المرضى الذين من المتوقع أن يكون الدواء فعالاً في معالجتهم من دون أي أعراض جانبية تذكر. هذه العوامل مجتمعة ستكون لمصلحة شركات التقنية الحيوية مقابل الشركات الدوائية العملاقة. وإيجازاً، فإننا نتوقع أن تكون بنية الصناعة الدوائية/ صناعة التقنية الحيوية مرنةً وديناميةً، ولن تكون مقصورة على إقامة شركات عملاقة من خلال التحالفات والاندماجات.

وليس هناك من ضمانات فعلية لنجاح أي شركة أو استراتيجية أعمال مُتبناة أو حتى استمرارها (حتى استراتيجية أعمال الشركات الدوائية العملاقة التي طالما مجدناها) في الأوضاع السائدة. وسيعتمد نجاح أي شركة على قدرتها على الابتكار والتجاوب مع المتغيرات.

تنطبق المناقشة المذكورة آنفاً على الصناعة الدوائية/ صناعة التقنية الحيوية ذات الطبيعة البحثية التي تسعى لتطوير عقاقير دوائية جديدة ومسجلة. غير أن المطالبات المجتمعية المتزايدة لخفض أسعار الأدوية، والأعداد المتزايدة من براءات الأدوية المنتهية مدتها الزمنية، تجعلنا نتذكر عاملاً مهماً في صناعة العقاقير الدوائية (حاضراً ومستقبلاً) هو صناعة الأدوية غير المسجلة أو غير المحمية ببراءات اختراع مسجلة. فبالإضافة إلى الشركات المنتجة للأدوية غير المسجلة أو غير المحمية ببراءات اختراع مسجلة في الولايات المتحدة الأمريكية وأوربا واليابان، فإن شركات مماثلة قد بدأت تظهر فعلياً في بعض الدول النامية وأرجاء متفرقة من العالم التي لا يوجد فيها شركات تقنية حيوية أو دوائية ذات طبيعة بحثية. وعلى سبيل المثال، أضحت الهند مركزاً رائداً لمثل هذه الشركات. وتستعد هذه الشركات في أكثرها لتسويق منتجاتها الدوائية غير المسجلة في الدول الواقعة فيها، بل إنها على أتم أهبة لمنافسة الشركات الدوائية المماثلة في الولايات المتحدة الأمريكية وأوربا.

عدم القدرة على الاستفادة من الجينوميات الموسعة في اكتشاف أدوية جديدة

برغم الاستثمارات الضخمة في مجال الجينوميات والبروتينيات والتقنيات المتقدمة في اكتشاف العقاقير الدوائية خلال تسعينيات القرن العشرين ومطلع القرن الحادي والعشرين، سواء لدى الشركات الدوائية العملاقة أو المستثمرين في شركات التقنية الحيوية ذات قاعدة التقنية الجينومية الموسعة، فإننا لا نرى اليوم سوى مجموعة قليلة من العقاقير الدوائية الجينومية في مرحلة الاختبارات السريرية. وعلاوةً على ذلك - كما أشرنا سابقاً - فإن الجينوميات وتقنيات الغربلة السريعة لم تؤد إلى زيادة إنتاجية وحدات البحث

والتطوير في الشركات الدوائية خلال تسعينيات القرن العشرين ومطلع القرن الحادي والعشرين.

يرد بعض المديرين التنفيذيين في الشركات الدوائية والمعلقين المختصين في الصناعة الدوائية ذلك إلى حقيقة أن هذه التقنيات لم تأخذ مكانها إلا لفترة وجيزة نسبياً. ومازال هؤلاء يؤمنون بقانون الأعداد الكبيرة، بمعنى أنه إذا ما وسعت شركة دوائية نطاق عملياتها وكفاءتها وولّدت مئات الملايين من النقاط البيانية، فإنها ستتمكن من تحديد النزر اليسير من هذه البيانات التي يمكن أن توصلها إلى صنع أحد العقاقير الدوائية الأكثر مبيعاً في العقدين الأول والثاني من هذا القرن. وعلى سبيل المثال، ذكر جورج ميلن الابن (George Milne Jr.)، وهو نائب الرئيس الأول للإدارة الاستراتيجية والعملياتية العالمية في شركة فايزر العملاقة، في مقالة نشرها في تموز/ يوليو 2001 أن شركته قد حققت -كما هو متوقع- زيادة قدرها أربعون ضعفاً في سرعة عمليات الغربلة الفائقة التي تجريها، وأنها ستولد 150 مليون نقطة بيانية في عام 2002، مقارنة بنحو 3.8 ملايين نقطة بيانية في عام 1998. وأضاف في مقالته أن هذه الفاعلية وهذه السرعة المتناميتين قد أوصلتا الشركة إلى عقاقير مرشحة أفضل في مجالات علاجية مختلفة؛ ولذا قد تتمكن شركة فايزر من الاستفادة من المعلومات حول الأهداف التي تحددها الدراسات الجينومية بشكل أسرع. وفي المقالة نفسها إشارة إلى أن جون نيبلاك (John Niblack)، الذي شغل مؤخراً منصب رئيس وحدة البحث والتطوير العالمية في شركة فايزر، قد قال عام 1991: إن عمليات البحث والتطوير الموسعة التي تبنتها شركة فايزر ستمكنها من استكشاف الفرضيات الكثيرة حول التطبيقات الطبية للجزيئيات والآليات الجديدة التي كشفت عنها الدراسات الجينومية.[23]

ولكن نيبلاك كما ناقشنا سابقاً قال في وقت لاحق من السنة نفسها: لم تتمكن شركة فايزر أو أي واحدة من الشركات الدوائية العملاقة (التي تبنت منهجية جينومية موسعة وآلية الغربلة الفائقة في اكتشاف العقاقير الدوائية) من تطوير عقاقير دوائية كافية

للمحافظة على النمو. وقد عبَّر قادة الصناعة الدوائية والمهتمون بشؤون الصناعة الدوائية عموماً (من مستثمرين ومحللين ومستشارين) عن خيبة أملهم بسبب ندرة العقاقير الدوائية ذات الطبيعة الجينومية التي رُشِّحت فعلياً لمرحلة التجارب السريرية، بل بسبب قلة العقاقير في مرحلة ما قبل التجارب السريرية أيضاً (أي تجربة الدواء على حيوانات مختبرية قبل البدء بالتجارب البشرية). وبما أن نمو الشركات الدوائية العملاقة واستمرارها أحياناً يعتمدان على زيادة إنتاجية وحدات البحث والتطوير التابعة لها في المدى القريب نسبياً، فإن الكثير من المديرين التنفيذيين في الصناعة الدوائية يشعرون بالحاجة الملحة إلى تطوير نتائج الدراسات الجينومية.

وتبدو خيبة الأمل مضاعفةً إذا علمنا أن الشركة الرائدة في إجراء التجارب السريرية على العقاقير الدوائية ذات الطبيعة الجينومية، ونقصد هنا شركة هيومان جينوم ساينسيز (Human Genome Sciences)، قد عانت نكسات خطيرة. ففي الأعوام القليلة الماضية، حقق العقاران الدوائيان الرئيسيان اللذان طورتها الشركة المذكورة نتائج مخيبة في المرحلة الثانية من التجارب السريرية. ونتيجةً لذلك، قررت شركة هيومان جينوم ساينسيز عدم مواصلة تطوير أحد هذين العقارين الدوائيين، وهي تقوم بتجارب سريرية جديدة على العقار الثاني بعد أن أخفق في معالجة اثنين من الأعراض المهمة في التجارب السريرية السابقة. وقد عمدت الشركة مؤخراً إلى البدء بتطوير عقاقير دوائية غير جينومية، وتحديداً عقاقير بروتينية معدَّلة بتقنيات مملوكة للشركة ومسجلة باسمها تجعلها أكثر فاعلية مقارنةً بمثيلاتها التي طورتها شركات أخرى وطرحتها في الأسواق. وتطوِّر الشركة في الوقت الحاضر مزيجاً متساوياً تقريباً من العقاقير الجينومية والعقاقير غير الجينومية.

أما شركة ميلينيوم الدوائية، وهي من الشركات الجينومية الرائدة أيضاً، فقد كانت تجري تجارب سريرية على تسعة عقاقير دوائية في تشرين الأول/ أكتوبر 2002، واحد منها فحسب مصدره الجهود البحثية التطويرية الجينومية للشركة نفسها. أما العقاقير الدوائية الثمانية الأخرى فقد آلت إلى شركة ميلينيوم الدوائية نتيجة شرائها شركات أخرى، والأمر

نفسه ينطبق على العقارين الدوائيين اللذين تقوم الشركة بتسويقهما. ومن الشركات الجينومية الرائدة الأخرى شركتا كيوراجين (CuraGen) ومارايد جينوميكس (Myriad Genomics). وتملك الشركة الأولى في الوقت الحاضر علاجاً جينومياً قيد التجارب السريرية، بينما لا تملك الشركة الثانية أي عقار.[24]

وربما يؤمن معظم العاملين في اكتشاف العقاقير الدوائية الجينومية أن قانون الأعداد الكبيرة ليس كافياً. وعلى سبيل المثال، عندما يدرس الباحثون مركبات معينة مقابل جزيء مُستهدف، فإنهم يسعون لتحديد احتمال أن يؤثر أي من هذه المركبات بشكل معين (مثلاً إعاقة أنزيم مُستهدَف) في الجزيء المستهدف أو لا. ولكن، إذا كان الباحثون يدرسون مركبات معينة مقابل جزيئيات خاطئة، و/ أو إذا كان الباحثون يدرسون جميعات خاطئة من المركبات لا تتضمن الجزيئيات التي تتفاعل مع الجزيء المستهدف، فإنهم سيحصلون على إجابات لا معنى لها، مهما بلغ عدد المركبات التي يدرسونها أو سرعتهم في تنفيذ ذلك.

وتكمن المشكلة الحقيقية في تطوير العقاقير الدوائية الجينومية في اختيار الأهداف الصحيحة من بين عدد ضخم من الأهداف المحتملة، وبمعنى آخر تكمن الصعوبة في التحقق من الأهداف. وكما ذكرنا سابقاً، فإن التحقق من الأهداف يمثل التحدي الأهم الذي يواجه عملية اكتشاف العقاقير الدوائية الجينومية اليوم. لقد قدم علماء الجينوميات الوظيفية وعلماء الأحياء لشركات اكتشاف العقاقير الدوائية وتطويرها مجموعةً من "تقنيات التحقق من الأهداف".[25] وبرغم ذلك تبقى مهمة الباحثين المختصين باكتشاف العقاقير الدوائية الجينومية مضنيةً بسبب التحديات المرتبطة بالتحقق من الأهداف.

إن مشكلة تحديد المركبات الصحيحة لدراستها وغربلتها مقابل الأهداف التي تم التحقق منها هي مشكلة التنوع البنيوي لجميعات المركبات الكيميائية (أي القدرة على بناء

جميعات من مركبات مختلف بعضها عن بعض بحيث يتفاعل عدد محدود منها مع أي هدف يهمّ الباحثين). وتتيح الكيمياء التوافيقية لعلماء الكيمياء الطبية أن يولدوا عدداً ضخماً من المركبات المختلفة في الجميعات الكيميائية. غير أن درجة التنوع في هذه الجميعات محدودة بفعل العمليات الحسابية التي يستخدمها الكيميائيون لتحديد التنوع الكيميائي. وقد يكون هذا التنوع كما يراه علماء الكيمياء مختلفاً تماماً عن التنوع في الجزيئات البيولوجية. وهذا يحدث تحديداً عندما تكون الأهداف التي هي قيد الدراسة - لدى الباحثين المختصين باكتشاف العقاقير الدوائية - غير منتمية إلى أي من المجموعات الأربع الرئيسية من الأهداف التي تعالجها العقاقير الدوائية المطروحة في الأسواق الآن. لذا، فإن الباحثين المختصين باكتشاف العقاقير الدوائية يطلقون على مثل هذه الأهداف غير المنتمية "الأهداف الصعبة".

لقد طورت شركات تقنية كيميائية متقدمة، مثل شركة إنفينيتي الدوائية (Infinity Pharmaceuticals) ونيوجينيسيس (NeoGenesis) وسانيسيس (Sunesis)، وجماعات أكاديمية، طرائق حاسوبية لتوليد جميعات من المركبات الكيميائية أكثر تنوعاً من الجميعات التقليدية، وهذا سيجعلها قادرة على معالجة نطاق أوسع من الأهداف. وعلى سبيل المثال، دخلت شركة سانيسيس، بسبب ما سبق، في اتفاقيات شراكة مع شركات دوائية عملاقة مثل ميرك (Merck) وبيوجين وشيرنج بلاو(Schering-Plough) وتولاريك (Tularik) وفارماسيا (Pharmacia) وميتسوبيشي الدوائية (Mitsubishi Pharmaceuticals). بينما عمد باحثون آخرون إلى توظيف تقنية تصميم العقاقير الدوائية بطريقة بنيوية وعدد من الطرائق الحاسوبية المبنية على تحديد البنية البروتينية من أجل تصميم عقاقير أكثر دقة للأهداف المقصودة. ومع تقدم البيولوجيا البنيوية والجينوميات البنيوية والتقنيات ذات الصلة بذلك، فإنه من المتوقع أن تُستخدم الطرائق السابقة على نطاق أوسع.

استراتيجيات فاعلة ذات طبيعة بيولوجية لاكتشاف الأدوية في ما بعد الجينوميات

برغم أن عمليات اكتشاف العقاقير الدوائية المدعومة من مبحث الجينوميات وتطويرها قد تعثرت في العقد الأخير من القرن المنصرم ومطلع القرن الحالي، فإن لدينا الكثير من الأمثلة على نجاح برامج ذات طبيعة بيولوجية تمت على نطاق محدود في إيصال عقاقير دوائية واعدة إلى المرحلة السريرية، بل ربما إلى الأسواق. وندرج في الجدول (5-11) أهم هذه الأمثلة.

الجدول (5-11)

أدوية واعدة قيد التطوير ضمن برامج اكتشاف العقاقير الدوائية ذات الأسس البيولوجية

الدواء	الشركة المطورة للدواء	الآلية	المرض	المرحلة
Glivec/ Gleevec	Novartis	مثبط البروتين المسمى Bcr-Abl	السرطان	تم تسويقه لمعالجة اللوكيميا النخاعية المزمنة والأورام المَعِدِيَّة- الأمعائيَّة السَّدَوِيَّة.
Velcade (bortezomib)	Millennium	مثبط البروتيزومات	السرطان	حصل على الموافقة في الولايات المتحدة الأمريكية في أيار/ مايو 2003 لمعالجة الأورام النَّقْوِيَّة المتعددة، وتُجرى الآن عليه تجارب سريرية لمعالجة أنواع من السَّرطانات.
MLN518	Millennium	مستقبل FLT-3 مثبط الكيناز	اللوكيميا النخاعية الحادة	المرحلة الأولى
PKC412	Novartis	مستقبل FLT-3 مثبط الكيناز	اللوكيميا النخاعية الحادة	المرحلة الثانية
CEP-701	Cephalon	مستقبل FLT-3 مثبط الكيناز	اللوكيميا النخاعية الحادة	المرحلة الثانية
SU11248	Sugen/Pharmacia	مستقبل FLT-3 مثبط الكيناز	اللوكيميا النخاعية الحادة	المرحلة الأولى
SCIO-469	Scios/Johnson & Johnson	مثبط الكيناز p38 MAP	التهاب المفاصل الرَّثْياني	المرحلة الثانية
VX-702	Vertex	مثبط الكيناز p38 MAP	متلازمة الانسداد التاجي الحاد	المرحلة الأولى

المصدر: مؤسسة Haberman Associates.

ولعل أهم هذه البرامج على الإطلاق هو تطوير شركة نوفارتس عقار جليفيك لمعالجة السرطان في الولايات المتحدة الأمريكية؛[26] إذ تم اكتشاف هذا العقار بفضل دراسات بيولوجية بدأت في سبعينيات القرن المنصرم في عدد من المؤسسات الأكاديمية مقرونةً بدراسات الكيمياء الطبية في شركة نوفارتس في العقد الأخير من القرن نفسه. ويستهدف هذا العقار جزيئاً محدداً يُعرف باسم كيناز Bcr-Abl، تبين أنه يسبِّب اللوكيميا النخاعية المزمنة.[27]

وقد حصل جليفيك على الموافقة اللازمة في الولايات المتحدة الأمريكية في فترة زمنية غير مسبوقة حتى الآن مقارنة بأدوية السرطان الأخرى، وتحديداً في 35 شهراً تقريباً، بدءاً من لحظة إعطاء أول جرعة من الدواء في التجارب السريرية البشرية وانتهاءً بموافقة هيئة الغذاء والدواء الأمريكية عليه. ومنذ منحه الموافقة المبدئية، وسَّعت هيئة الغذاء والدواء الأمريكية نطاق الأعراض التي يُمكن وصف عقار جليفيك لمعالجتها، بدءاً من معالجة اللوكيميا النخاعية المزمنة المتقدمة، مروراً باللوكيميا النخاعية المزمنة المبكرة في حال إخفاق العلاجات الأخرى، وانتهاء بمعالجة الأورام المَعِدِيَّة-الأمعائيَّة السَّدَوِيَّة. وبفضل التجارب السريرية الإيجابية المتلاحقة، فمن المتوقع أن يُسمح بوصف الدواء لمعالجة أمراض ذات صلة بذلك. وقد بلغت المبيعات العالمية لهذا الدواء بعد مرور 13 شهراً على طرحه في الأسواق 425 مليون دولار أمريكي.

وتضمن الجدول (11-5) أمثلة أخرى حديثة على عقاقير دوائية واعدة قيد التطوير لمعالجة السرطان، تم اكتشافها من خلال الأبحاث ذات الطبيعة البيولوجية. وتشمل عقار فيلكيد (Velcade) (المركب بورتيزوميب bortezomib) الذي تطوره شركة ميلينيوم؛ حيث قدَّمت الشركة طلباً للموافقة على عقارها إلى هيئة الغذاء والدواء الأمريكية لمعالجة الأورام النقوِية المتعددة. وبالفعل، حصلت الشركة على موافقة الهيئة في هذا الصدد في أيار/ مايو 2003. وتُجرى على العقار نفسه في الوقت الراهن تجارب سريرية للتحقق من فعاليته في معالجة سرطانات أخرى. وقد تم اكتشاف العقار فيلكيد بفضل دراسة بيولوجيا

البروتيزومات، وهو مركب أنزيمي يؤدي دوراً في ضبط الإشارات التنظيمية داخل الخلية التي تحكم تكاثر الخلية وبقاءها. وقد اقترنت الدراسة البيولوجية بدراسة كيميائية ـ طبية لدى باحثين في شركة لوكوسايت لاكتشاف ذلك المركب. وقد اشترت شركة ميلينيوم شركة لوكوسايت عام 1999، وهذا جعل ملكية عقار فيلكيد تؤول إليها، ذلك العقار الذي لا فضل للتقنيات الجينومية في شركة ميلينيوم في تطويره.

وتستهدف شركات عدة، منها ميلينيوم ونوفارتس وسيفالون (Cephalon) وسوجن (Sugen) – شركة تقنية حيوية أضحت جزءاً من شركة فارماسيا بعد أن اشترتها الأخيرة – شكلاً معدلاً من الكيناز المُستقبِل FLT3. وهذا الكيناز المحوِّل للإشارة والمعدَّل موجود على سطح خلايا اللوكيميا النخاعية الحادة، ومن الصَّعب التكهن بخطواته، ويعتقد أن له دوراً حاسماً في نمو هذه الخلايا الخبيثة وبقائها. والأدوية المدرجة ضمن هذه الفئة تمثل أمثلة أخرى على "أدوية السرطان المُصمَّمة". وتشمل هذه الفئة أدوية مثل جليفيك، وهي مصممة لتغير هدفاً تم التحقق منه وله دور حاسم في الإصابة بسرطان محدد. وكما هي الحال بالنسبة إلى عقاري جليفيك وفيلكيد، فإن هذه المركبات تم تطويرها من خلال اقتران الكيمياء الطبية والدراسات البيولوجية حول الكيناز المُستقبِل FLT3 في اللوكيميا النخاعية الحادة.

وقد تبنت شركات تقنية حيوية عدة برامج ذات طبيعة بيولوجية في اكتشافها للعقاقير الدوائية، وهي متخصصة في دراسة محولات الإشارات. ومن الشركات التي تندرج ضمن هذه الفئة ولها مركبات قيد التجارب السريرية سيلجين (Celgene) وليجاند (Ligand) وميتابولكس (Metabolex) وسوجن (Sugen) وتولاريك (Tularik) وفيرتكس (Vertex).[28] وقد نجح الكثير من شركات التقنية الحيوية، التي تبنت برامج لاكتشاف العقاقير الدوائية المبنية على مُحولات الإشارات، في إيصال بعض هذه العقاقير إلى الأسواق، وإن لم يكن بالضرورة بفعل برامجها لدراسة محولات الإشارات. وعلى سبيل

المثال، تملك شركات ليجاند وسيوس وفيرتكس (وهي تركز أكثر من أي شيء آخر على تصميم العقاقير البنيوية) أدوية مطروحة في الأسواق.

وتبدو الدراسات البيولوجية التقليدية بطيئةً، ومن أمثلة ذلك انقضاء ثلاثين عاماً من الدراسات الأكاديمية لتطوير عقار جليفيك؛ لذا، فقد عمد الكثير من الشركات إلى الاستفادة من التقنيات المتقدمة في اكتشاف العقاقير الدوائية من أجل تسريع الدراسات البيولوجية وتوسيع نطاقها. وخلافاً للبرامج البحثية الجينومية الضخمة المبنية على قانون الأعداد الكبيرة، فإن هذه البرامج تبدأ بنموذج مَرَضي، أو مسار، أو فرضية بيولوجية. ثم يستغل الباحثون تقنيات الغربلة المتقدمة لدراسة جميع الجينات و/ أو البروتينات المسؤولة عن النماذج المرضية أو المسارات أو الفرضيات البيولوجية دفعةً واحدةً، خلافاً للمنهجية التقليدية البطيئة التي تدرس جزيئياً واحداً في المرة الواحدة.

وعلى سبيل المثال، نفذت شركة سيوس برنامجاً بحثياً ذا طبيعة بيولوجية وأبعاد عدة، وهو يتضمن تطبيق تقنيات مختلفة منها الترجمة الجينية في الرقاقات الجينية، والكيمياء الطبية المتقدمة، وغيرها من التقنيات المتقدمة في اكتشاف الأدوية، في مساعيها لاكتشاف عقاقير دوائية جديدة تستهدف الكيناز المُصْدِر للإشارات والمسؤول عن مرض القلب والأوعية الدموية. وقد انطلق باحثو شركة سيوس من نموذج مَرَضي، وتحديداً النماذج الحيوانية لقصور القلب الاحتقاني، ثم درسوا على صعيد موازٍ عينات من أنسجة بشرية مأخوذة من مرضى مصابين بهذا المرض. وبالاستعانة بالرقاقات الجينية، يحاول الباحثون رصد الكيناز والجزيئيات الأخرى التي تتغير أشكالها نتيجة للإصابة بهذه الحالة المرضية. وقد نجم عن هذا البرنامج مُركب وهو الآن في المرحلة الثانية من التجارب السريرية، بالإضافة إلى مجموعة من المركبات في مرحلة الدراسة السابقة للتجارب السريرية. كما يستعين العلماء في الشركات الأخرى والمختبرات الأكاديمية بمبحث البروتينيات لتسريع التعرف على الجزيئيات المسؤولة عن مسار تحويل الإشارات؛ إذ إن تحديد هذا المسار

بالطرائق التقليدية ذات الطبيعة البيولوجية (وهذا ما يتم في العادة في مختبرات أكاديمية منفصلة) قد يستغرق عقداً أو أكثر.

إن برامج البحث والتطوير ذات الطبيعة البيولوجية المذكورة آنفاً قد تستغل بعض تقنيات الغربلة المعتمدة في برامج اكتشاف العقاقير الدوائية الممتدة ذات المنطلقات الجينومية والتقنية. ولكن، بما أنها تبدأ بنموذج مَرضي معين أو مسار معين أو فرضية معينة فإنها أضيق حدوداً من البرامج الأخرى. وبما أن الاستراتيجيات البحثية ذات الطبيعة البيولوجية تربط في العادة أهدافاً جزيئية بأحوال مَرضية معينة في مرحلة مبكرة من الدراسة، فإنها تُسهل عملية التحقق من الهدف إلى حد بعيد. وعلاوة على ذلك، فإنها تسهل أيضاً الانتقال من مرحلة اكتشاف الدواء إلى مرحلة النماذج الحيوانية وإلى مرحلة التجارب السريرية البشرية.

وقد بدأت بعض الشركات الدوائية وشركات التقنية الحيوية والشركات الجينومية العملاقة تهتم أكثر من أي وقت مضى باستراتيجيات اكتشاف الأدوية ذات الطبيعة البيولوجية، وربما بدأت باستخدامها. وعلى سبيل المثال، ووفقاً لجيمس مولين (James Mullen)، الرئيس والرئيس التنفيذي لشركة بيوجن الدوائية العملاقة، فإن شركته تبنت استراتيجية "التنقيب الحيوي"، بدءاً من النماذج المرضية، للاستفادة من المعلومات الجينومية في اكتشاف الأدوية.[29] بينما عيَّنت شركة ميلينيوم العملاقة عالماً هو جوليان آدامز (Julian Adams) (من شركة لوكوسايت سابقاً)، الذي قاد جهود اكتشاف العقار فيلكيد ونقله إلى مرحلة التجارب السريرية، نائب رئيس أول لوحدة اكتشاف الأدوية عام 1991.[30] وكما سنناقش لاحقاً، فإن شركة نوفارتس العملاقة تبني مختبراً بحثياً جديداً في كمبردج بولاية ماساشوستس بهيكلة من شأنها تسهيل استراتيجيات اكتشاف العقاقير ذات الطبيعة البيولوجية في المرحلة ما بعد الجينومية. وفي ظل النجاحات المتلاحقة للاستراتيجيات البحثية ذات الطبيعة البيولوجية وضخامة مشكلة التحقق من الأهداف العلاجية، فإن الشركات الدوائية ستفعل خيراً إذا طبقت مثل هذه الاستراتيجيات.

التحديات الهيكلية لتطوير العقاقير الدوائية ذات الطبيعة الجينومية

تتخذ العقبات الماثلة في طريق اكتشاف العقاقير الدوائية في مرحلة ما بعد الجينوميات طبيعةً تقنية/ علمية وهيكلية. لقد ناقشنا القضايا التقنية والعلمية في أجزاء سابقة من هذا الفصل، ونتطرق الآن إلى التحديات الهيكلية.

هناك الكثير من القضايا الهيكلية المتداخلة والقضايا الاستراتيجية ذات الصلة التي يمكن أن تسهل اكتشاف العقاقير الدوائية ذات الطبيعة الجينومية وتطويرها بطريقة فعالة أو تعوقها، وخاصة في الشركات الدوائية العملاقة.[31] ومن المشكلات الرئيسية في هذا السياق أن هذه الشركات نزعت نحو تبني ثقافة بيروقراطية متحفظة إزاء المخاطر، وأن هذه الثقافة كانت مواتية عندما كانت استراتيجيات اكتشاف العقاقير الدوائية التقليدية كافيةً ومكنتها من إنتاج أعداد من العقاقير الدوائية ذات القيمة الفائقة تكفيها لمواصلة نموها. وقد أعاقت هذه الثقافات البيروقراطية المتحفظة الابتكار بين باحثي الشركات الدوائية العملاقة، كما أنها أعاقت نجاح الشراكة مع شركات التقنية الحيوية التي تتبنى في العادة ثقافة مبتكرة ومنطلقةً وأقل قيوداً. هذا الاختلاف في الثقافة يفسر إنتاجية شركات التقنية الحيوية في مجال اكتشاف العقاقير الدوائية الجديدة مقارنة بالشركات الدوائية العملاقة، كما يفسر حقيقة أن الصناعة الدوائية برمتها تعوِّل على شركات التقنية الحيوية في اكتشاف الأدوية.

بل إن الشركات الدوائية العملاقة تختلف كثيراً في حجمها وثقافتها وحوافزها عن المؤسسات الأكاديمية مقارنة بشركات التقنية الحيوية. وحيث إن نتائج الدراسات الأكاديمية - وخاصة فيما يتعلق بالتحقق من الأهداف، والبيولوجيا المرضية، والتقنيات الكيميائية المتقدمة - أضحت أكثر أهميةً في اكتشاف العقاقير الدوائية الجديدة في مرحلة ما بعد الجينوميات، فإن هذا الأمر أعاق جهود الشركات الدوائية العملاقة في الاستفادة من التقنية الجينومية بفاعلية.

بل إن الاندماجات الضخمة بين الشركات الدوائية العملاقة تجعل هذه الشركات أكثر تحفظاً إزاء المخاطر. كما أن إعادة الهيكلة الناجمة عن هذه الاندماجات تربك جهود البحث والتطوير في الشركة الناجمة، كما تضر بالشراكة مع شركات التقنية الحيوية والمؤسسات الأكاديمية. وعلى سبيل المثال، يشعر علماء البحث والتطوير في الشركة الناشئة عن الصفقة الاندماجية بشيء من الغموض بشأن مصيرهم خلال عملية إعادة الهيكلة، متسائلين عما إذا كانوا سيبقون في الشركة الناشئة أم لا، ومن سيكون رئيسهم المباشر في حال بقائهم. وقد تصيب حالة الغموض أنشطة البحث والتطوير مدة سنة أو أكثر.

الانتقال نحو منظومات أكثر فاعلية في اكتشاف العقاقير الدوائية وتطويرها

تعمد شركات دواء عملاقة كثيرة إلى وضع استراتيجيات مختلفة إدراكاً منها للحاجة إلى تبني منظومات وثقافات بحثية وتطويرية مبتكرة. ومن هذه الاستراتيجيات إعادة هيكلة برامج البحث والتطوير في محاولة لخلق بيئة تساعد على الابتكار. كما يتعين على أي شركتين تدخلان في صفقة اندماجية أن تعيدا هيكلة منظومتيهما البحثية والتطويرية من أجل تكامل عمليات الشركتين المندمجتين وإنهاء المهام والوظائف المكررة. غير أن عمليات إعادة الهيكلة (علاوةً على عمليات إعادة الهيكلة المتكررة في الشركات غير المندمجة) تضر في معظم الأحيان بالمساعي المبذولة لبيئة بحثية وتطويرية مبتكرة. بينما يعمد المديرون التنفيذيون في الشركات الدوائية العملاقة في العادة إلى إعادة الهيكلة في محاولة لتطوير المُخرجات البحثية والتطويرية.

ولعل أوضح حالة على الاستفادة من إعادة الهيكلة في خلق بيئة أكثر ابتكاراً هي حالة شركة جلاكسو سميث كلاين (Glaxo-SmithKline) العملاقة.[32] ففي عام 2001، وفي أعقاب الصفقة الاندماجية بين شركة جلاكسو ويلكوم (Glaxo Wellcome) وشركة سميث كلاين بيكام (SmithKline Beecham) التي تمخض عنها شركة جلاكسو سميث

كلاين العملاقة، شيَّدت الشركة الناشئة ستة مراكز أسمتها "مراكز التميز في اكتشاف العقاقير الدوائية". وصب كل واحد من هذه المراكز اهتمامه على منطقة علاجية معينة أو مجموعة علاجية معينة (مثل الأعصاب أو أمراض الجهاز التنفسي أو التهاب المفاصل الرثياني)، بينما اهتمت معاً بتفعيل العقاقير الدوائية المرشَّحة ومرحلة ما قبل التجارب السريرية ضمن عملية تطوير العقاقير الدوائية. وقد عُرفت شركة جلاكسو سميث كلاين بالجينوميات المتقدمة المعززة تقنياً ومنهجيات الغربلة الفائقة والسريعة المعتمدة لديها، فأتاح ذلك لـ "مراكز التميز في اكتشاف العقاقير الدوائية" التابعة لها أن تصل إلى مركبات دوائية مرشحة. ثم عمد علماء هذه المراكز إلى تفعيل العقاقير المرشحة، وإجراء التجارب ما قبل السريرية، واستبعاد المركبات التي من المرجَّح أن تخفق في التجارب السريرية، وإعداد المركبات المؤهلة في نهاية المطاف لمرحلة التجارب السريرية. ثم تعمد وحدة متابعة التجارب السريرية التابعة للشركة إلى إكمال عملية تطوير الدواء.

ويضم كل واحد من "مراكز التميز في اكتشاف العقاقير الدوائية" ما بين 280 و400 من العلماء. ويعمل العلماء في كل واحد من هذه المراكز بالطريقة نفسها التي تعمل بها شركة التقنية الحيوية بعيداً عن البيروقراطية. وعلاوةً على ذلك، تقدم الشركة لهؤلاء العلماء عند نجاحهم في تطوير عقار جديد ما حوافزَ تتضمن علاوات نقدية وما يُعرف بخيارات الأسهم.

لذا، تسعى شركة جلاكسو سميث كلاين إلى الجمع بين حسنات الشركات الدوائية العملاقة وحسنات شركات التقنية الحيوية ذات السمة التجارية. غير أن المراحل الأولى من اكتشاف العقاقير الدوائية ما زالت تُدار وفقاً للمنهجية المعروفة باسم "قانون الأعداد الكبيرة" ذات الطبيعة التقنية. (يمكن لـ"مراكز التميز في اكتشاف العقاقير الدوائية" أن تجري تجاربها على المركبات المُطوَّرة لدى شركات خارجية تربطها بشركة جلاكسو سميث كلاين شراكة ما، بما في ذلك المركبات المكتشفة من خلال الدراسات ذات الطبيعة البيولوجية). وكما هي الحال

بالنسبة إلى خطط إعادة الهيكلة التي تبنتها الشركات الدوائية العملاقة، فإن علينا أن ننتظر لنقرر أنجحت شركة جلاكسو سميث كلاين أو أخفقت في هذا الإطار؟

ومن المنهجيات الأخرى التي تبنتها الشركات الدوائية العملاقة للارتقاء بوحداتها البحثية والتطويرية إنشاء مختبرات تابعة لها بالقرب من المؤسسات الأكاديمية المتميزة. وعلى سبيل المثال، اختارت مجموعات عدة من الشركات الدوائية العملاقة منطقة بوسطن، وخاصةً منطقة كمبردج بولاية ماساشوستس بالقرب من معهد ماساشوستس للتقنية، موقعاً لمختبراتها التابعة لها. وتُعد منطقة كمبردج مقراً للكثير من شركات التقنية الحيوية.

ومن الشركات الدوائية أو شركات التقنية الحيوية العملاقة التي تملك، مختبرات تابعة لها في منطقة بوسطن، أو هي بصدد بناء مثل هذه المختبرات: أمجن وأسترا زينيكا (AstraZeneca) وميرك وفايزر. وهذه المختبرات مُصممة لتكون بمنزلة شركات تقنية حيوية صغيرة ومبتكرة. فقربها من المؤسسات الأكاديمية المتميزة سيمكنها من استقطاب من هم في مقتبل العُمر من حملة شهادة الدكتوراه ولديهم مؤهلات متميزة للعمل تحت إدارة مدير مُتمرس في البحوث. كما سيمكنها ذلك من التفاعل مع العلماء الأكاديميين وعلماء شركات التقنية الحيوية الصغيرة الواقعة في محيط معهد ماساشوستس للتقنية.

وتصب المختبرات التابعة في العادة اهتمامها على قضية معينة تهم الشركة الأم. وعلى سبيل المثال، يركز مركز تقنيات الاكتشاف التابع لشركة فايزر الواقع في كمبردج على تحقيق التكامل بين الجينوميات والعلوم البيولوجية، والتقنيات الكيميائية المتقدمة، والهندسة والمعلوماتية الحيوية، مع الاهتمام خاصةً باكتشاف جميعات المُركبات المتفاعلة مع مجموعة بروتينية معينة وتصميمها. ويتعاون علماء هذا المركز مع شركة آركيول (ArQule) المتخصصة في الكيمياء التوافقية وتتخذ من ميدفورد مقراً لها فيما يتعلق بدراسات الجينوميات الكيميائية لغربلة الجميعات المركبية مقابل المجموعات البروتينية.

ومن المهام الأخرى للمختبرات التابعة حفز التغيرات في هيكلة وحدات البحث والتطوير التابعة للشركة الأم، لمساعدتها في أن تكون أكثر ابتكاراً. ومن أجل تحقيق ذلك لابد من جعل المختبرات التابعة مستقلةً، وأن تعطى دوراً قوياً وسلطةً واسعةً في وحدات البحث والتطوير التابعة للشركة الأم، وإقامة علاقة متينة مع إدارات الشركة الأم وأقسامها، وهيكلة وحدات البحث والتطوير في الشركة الأم بشكل يجعلها قادرة على تطبيق المنهجيات التي تطورها المختبرات التابعة. ومن أجل حفز التغيرات في الشركة الأم والاستفادة من التقنيات والمركبات التي تطورها المختبرات التابعة، لابد من انتقال العلماء، بل المشروعات أيضاً، بين المختبرات التابعة ووحدات البحث والتطوير في الشركات الأم. وعلينا أن ننتظر للتحقق من نجاح المختبرات التابعة أو إخفاقها في جعل وحدات البحث والتطوير في الشركات الدوائية العملاقة أكثر ابتكاراً ومن ثم تطوير مخرجاتها الدوائية.

وهناك منهجية تُعد أكثر راديكاليةً وغايتها جعل وحدات البحث والتطوير التابعة للشركات الدوائية العملاقة أكثر ابتكاراً، وقد تبنتها شركة دوائية واحدة فحسب، وهي نوفارتس. هذه المنهجية مبنية على إقامة مقر مستقل للبحث والتطوير في مؤسسة أكاديمية متميزة. ففي أيار/ مايو 2002 أعلنت نوفارتس عن أنها بصدد إنشاء معهد نوفارتس للدراسات الطبية ـ الحيوية على أن يكون مقره في كمبردج بولاية ماساشوستس، وتحديداً بالقرب من معهد ماساشوستس للتقنية. وستتم إدارة عمليات البحث والتطوير التابعة التي تتم في الولايات المتحدة الأمريكية وأوربا واليابان من المقر الجديد.

وفي خطوة غير معهودة لدى الشركات الدوائية العملاقة، اختارت شركة نوفارتس طبيباً أكاديمياً هو مارك فيشمان (Mark Fishman) ليرأس معهد نوفارتس للدراسات الطبية ـ الحيوية. وكان فيشمان في السابق أستاذ الطب في كلية هارفارد للطب ورئيس وحدة أمراض القلب ومدير معهد أمراض القلب والأوعية الدموية في مستشفى ماساشوستس العام في بوسطن. وقد صب فيشمان اهتماماته البحثية على سَمك الزَّرَد

مُعتبراً إياه كائناً حياً نموذجياً، وخاصة لفهم الجينيات التطورية لجهاز القلب والأوعية الدموية. ويتوقع فيشمان أن يجعل معهد نوفارتس للدراسات الطبية ـ الحيوية مركزاً للدراسات الأكاديمية الحديثة، موطِّداً التعاون بين علوم ومباحث علمية مثل مبحث الجينوميات وعلم الوراثة وعلم الأحياء وعلم الكيمياء والطب. كما عقد العزم على أن يحد من ثقافة السرية المهيمنة على الشركات الدوائية العملاقة، مشجعاً علماء شركة نوفارتس على حضور الاجتماعات العلمية، ونشر دراساتهم في المجلات العلمية، والتشاور والتعاون مع العلماء خارج حدود شركة نوفارتس. وهو يؤمن أن التقاء الصناعة الدوائية والثقافة الأكاديمية قد يستغرق أعواماً، متوقعاً أن يتشكل - بعد أن يتحقق ذلك - جيل من العقاقير الدوائية الجديدة. وقد تلقى فيشمان دعماً كاملاً من الرئيس التنفيذي لشركة نوفارتس دانيال فاسيلا (Daniel Vasella) الذي استقطب فيشمان بنفسه.[33]

ويظهر اختيار فاسيلا منهجيةً راديكاليةً بعيدة المدى لإعادة هيكلة وحدات البحث والتطوير في شركة دوائية عملاقة مثل نوفارتس، ولأن هناك رئيساً تنفيذياً واحداً على أقل تقدير في الشركات الدوائية العملاقة يدرك عمق الحاجة إلى تغيرات هيكلية وإلى فهم أعمق لهيكلة وحدات البحث والتطوير، إذا ما أرادت الشركات الدوائية العملاقة أن تواجه تحديات عصر ما بعد الجينوميات.

خاتمة

مواجهة تحديات العقد الأول من القرن الحادي والعشرين وما بعده

إذا أرادت الصناعة الدوائية المبنية على الدراسات المتخصصة، أو أي شركة عاملة في مجال الصناعات الدوائية، أن تبني لنفسها مستقبلاً، فإن عليها أن تعتمد استراتيجيات علمية وتقنية تمكنها من الاستفادة من التقنيات الحيوية الجديدة بطريقة أكثر فاعلية من الوقت الحاضر، تطوير عقاقير دوائية جديدة تساعدها على مواصلة نموها وبقائها، اقتناص الفرص العظيمة

التي من المتوقع أن يوفرها العلم وتقنياته. وكما ناقشنا آنفاً، فإن الحاجة إلى مثل هذا التغيرات الاستراتيجية لها أبعادها العلمية/ التقنية وأبعادها التنظيمية أيضاً.

وتواجه الصناعة الدوائية في الوقت الراهن ضغوطاً مجتمعية عدة، وستبقى الحال كذلك في المستقبل، دع عنك قضاياها الداخلية. ولعل القضية التي تتصدر الأخبار هي المطابقة بضبط أسعار العقاقير الدوائية. غير أنه من المتوقع أن تقلل العقاقير الفائقة التكلفة الإجمالية - إذا ما أخذنا التكلفة الحقيقية للإقامة في المستشفيات والعمليات الجراحية وغيرها من قضايا الرعاية الصحية - وإن كان يتوقع أن تكون العقاقير الفائقة باهظة الثمن بسبب التكلفة العالية لتطويرها. كما يتوقع أيضاً أن تحسِّن العقاقير الفائقة والمعالجات المبتكرة في المستقبل (مثل المعالجة الخلوية وزراعة الأعضاء بالهندسة النسيجية واستبدال الأعضاء التالفة والمعالجة الجينية)، بالإضافة إلى معالجات الأمراض المستعصية، نوعية حياة الكثير من سكان كوكبنا. وسيعتمد توافر مثل هذه العلاجات الفائقة في المستقبل على تواصل الحوار حول العقد الاجتماعي بين الأطراف المعنيين كافة؛ من المرضى والأطباء والخدمات الصحية الوطنية وشركات التأمين والشركات الدوائية وشركات التقنية الحيوية.

ومن التوجهات الاجتماعية التي يتوقع أن تصبح أكثر أهميةً في العقود القليلة المقبلة، الشيخوخة وشيوعها في أرجاء متفرقة من العالم؛ إذ يطالب المرضى المتقدمون في العمر والمصابون بأمراض خطيرة وعائلاتهم وأولئك الذين يتوقع أن يصابوا بمثل هذه الأمراض في المستقبل بمعالجات أفضل وربما بعلاجات ناجعة لأمراضهم. ومما عزَّز هذه المطالبات الأنباء التي تحدثت عن تحقيق إنجازات علمية طبية وعن تطوير عقاقير دوائية فائقة مثل جليفيك. وتأتي هذه التوجهات الاجتماعية معارضةً للمطالبات بضبط أسعار العقاقير الدوائية، ولابد من التوفيق بين هذه التوجهات وتلك المطالبات.

وعندما تحسن الصناعة الدوائية الاستفادة من تقنياتها بطريقة فاعلة، فإنها ستنجح في تلبية احتياجات المجتمع أولاً وضمان مستقبلها ثانياً.

ملحق الفصل الحادي عشر

التقنيات المتقدمة في اكتشاف العقاقير الدوائية

ندرج في هذا الملحق نبذةً موجزةً عن أهم التقنيات المتقدمة المعتمدة في اكتشاف العقاقير الدوائية التي سبق أن أشرنا إليها في الفصل الحادي عشر.

مبحث الجينوميات

يشكل مبحث الجينوميات لبَّ تقنيات اكتشاف العقاقير الدوائية وهو معنيٌّ بدراسة المعلومات الجينية للكائنات الحية مهما اختلفت. (تُعرف مجموعة الجينات الكاملة في الكائن الحي باسم الجينوم). لقد تسارعت وتيرة تطور مبحث الجينوميات مع انطلاق مشروع الجينوم البشري عام 1999؛ تحت إدارة المعاهد الوطنية الصحية في الولايات المتحدة الأمريكية ووزارة الطاقة الأمريكية. وفي أواخر تسعينيات القرن المنصرم أسِّست شركة تجارية تدعى سيليرا جينوميكس (Celera Genomics)، وكانت الغاية المعلنة من تأسيسها إكمال وضع تسلسل الجينوم البشري بسرعة تفوق مشروع الجينوم البشري "العام"، على أن تتيح المعلومات المستقاة لاحقاً لمشتركيها مقابل رسوم معينة. ونتيجةً للمنافسة المحتدمة بين الطرفين - الشركة "الخاصة" والمشروع "العام" - فقد أكمل الطرفان في الوقت نفسه وضع تسلسل أولي للجينوم البشري، قبل أعوام عدة من الموعد المقرر لذلك، أي في عام 2000. ثم وضعت الشركتان تسلسلاً "نهائياً" في نيسان/ إبريل 2003.

ولم يحدث هذا فحسب، بل تم تحديد التسلسلات الجينومية للكثير من الكائنات المجهرية (ومنها أهم الكائنات الدقيقة المُمْرِضة)، ومن المتوقع أن يتمكن العلماء بفضل

هذه التسلسلات من تطوير أجيال جديدة من المضادات الحيوية واللقاحات وغيرها من العلاجات المستخدمة في معالجة الأمراض المعدية والوقاية منها. كما تمكن العلماء من تحديد التسلسلات الجينومية لكائنات نموذجية مثل فطر الخميرة المعروف باسم (Saccharomyces cerevisiae) والدودة السِّلكية أو الخيطيَّة المعروفة باسم (Caenorhabditis elegans) وذبابة الفاكهة المعروفة باسم (Drosophila melanogaster) وفأر المختبرات. وهناك مشروعات حالية لوضع التسلسل الجينومي لكائنات نموذجية أخرى، منها على سبيل المثال جرذ المختبرات، وسمك الزَّرَد الذي يُعدُّ من الفقاريات المستخدمة على نطاق واسع في دراسات علم الأحياء التطوري.

والمعلومات الجينومية المستمدة من الكائنات النموذجية لها أهميتها وفائدتها من حيث إنها تساعد العلماء الذين يعكفون على اكتشاف العقاقير الدوائية في تحديد وظائف الجينات البشرية وفي تطوير نماذج مرضية تجريبية. وتساعد الدراسات التجريبية التي تُجرى على النماذج المَرَضية، مثلها مثل الجينوميات والجينوميات الوظيفية والدراسات البيولوجية، العلماءَ في تحديد الجزيئيات المرتبطة ارتباطاً أساسياً بأمراض معينة. وإذا ما تمكن العلماء حقاً من تصميم عقاقير دوائية قادرة على تغيير طبيعة هذه الجزيئيات، فإنها قد تكون عقاقير مرشحة لتطويرها للمعالجات البشرية لاحقاً. وتُعرف الجُزيئيات الحيوية (تكون غالباً بروتينات) التي تتفاعل مع دواء أو دواء مرشح بالأهداف الجزيئية.

التحقق من الأهداف الجزيئية

يمكننا أن نُعرِّف التحقق من الأهداف الجزيئية على أنه التأكد من أن هدفاً جزيئياً معيناً ارتبط ارتباطاً حاسماً بمرض معين أو علة معينة، ومن المحتمل أن يتدخَّل العلماء في هذا الهدف الجزيئي تحديداً لتطوير عقاقير دوائية. وما دام مبحث الجينوميات قد كشف للعلماء المتخصصين في اكتشاف العقاقير الدوائية فيضاً من الأهداف الجديدة المحتملة، فإن التحقق من الأهداف الجزيئية يمثل أهم تحدٍ يواجه عملية اكتشاف العقاقير الجينومية اليوم.

مبحث البروتينيات

مبحث البروتينيات معنيٌّ بدراسة الجميعة البروتينية في الكائنات الحية التي تعرف باسم بروتيوم. ويصب مبحث البروتينيات اهتمامه على دراسة الترجمة البروتينية (أي الآثار المرصودة للبروتينات) في الخلايا والأنسجة، والوظائف البروتينية، مع التركيز على التفاعلات بين البروتينات نفسها. إن معرفتنا بالترجمة البروتينية مهمة، لأن الكثير من العمليات الفسيولوجية - ومنها العمليات المرضية المهمة - تحدث على مستوى الترجمات والتعديلات والانحلالات البروتينية، لا على مستوى الترجمة الجينية. كما أن فهمنا لطرائق تفاعل البروتينات مع بعضها بعضاً يمكن الباحثين من فهم الطرائق الفسيولوجية وتحديد الأهداف الجزيئية المحتملة اللازمة لاكتشاف عقاقير دوائية جديدة. ومبحث البروتينيات أقل تطوراً من مبحث الجينوميات المذكور آنفاً، وذلك لسببين: أولهما أن التقنيات المستخدمة في مبحث البروتينيات أقل تقدماً من مثيلاتها في مبحث الجينوميات، وثانيهما أن البروتيوم ذو تركيبة معقدة جداً ولاسيما في ظل التفاعلات البروتينية ـ البروتينية المعقدة في الأصل.

مَبْحَثا الجينوميات الوظيفية والبروتينيات الوظيفية

يشير مبحث الجينوميات الوظيفية إلى مجموعة من التقنيات الأساسية الرامية إلى تحديد الوظائف الجينية بطريقة منهجية، ويشمل ذلك في العادة الجينوم كاملاً. وأما مبحث البروتينيات الوظيفية فيشير إلى تحديد الوظائف البروتينية بطريقة منهجية، ويشمل ذلك في العادة الجميعة البروتينية كاملة. ويهتم المبحث الأخير بدراسة التفاعلات البروتينية ـ البروتينية ودراسة التعديلات البروتينية خلال مرحلة ما يُسمى بالإشارات الخلوية بطريقة علمية منهجية. ويتداخل مبحث البروتينيات الوظيفية مع مبحث الجينوميات الوظيفية. لقد ظهر مبحث الجينوميات الوظيفية بعد أن قدَّم مبحث الجينوميات للعلماء عدداً ضخماً من الجينات والبروتينات التي تُشفِّرها، ولم يكن العلماء آنئذ يلمون بشيء عن بيولوجيتها

ووظائفها. وعلى وجه التحديد، يحتاج الباحثون المختصون في مجال اكتشاف العقاقير الدوائية إلى هذه المعلومات الوظيفية لتحديد الأهداف الدوائية والتحقق منها.

وتشمل التقنيات الأساسية المعتمدة في مبحث الجينوميات الوظيفية عدداً كبيراً من المنهجيات التجريبية المعتمدة، لعلَّ أشهرها على الإطلاق المصفوفات المجهرية أو ما يُعرف باسم تقنية "الرقاقات الجينية". وبحسب هذه التقنية، تقوم شركات الرقاقات الجينية أو الباحثون المختصون بإنشاء مصفوفات من مُستكشَفات الدَّنا على أسطح زجاجية أو سيليكونية تشبه رقاقات الحاسوب. ويمكن الاستفادة من هذه المصفوفات في مراقبة الترجمات (أي الآثار المرصودة) لعدد ضخم من الجينات (قد تشمل جميع الجينات الموجودة في جينوم كائن حي) في الخلايا والأنسجة على اختلافها، وكذلك مراقبة تغيراتها خلال المرض والمعالجة الدوائية معاً.

ومن التقنيات المعتمدة في مبحث الجينوميات الوظيفية أيضاً تقنية الفئران "المنقوصة جينياً"؛ حيث يتم تخليق فئران منقوصة جينياً مخبرياً، بمعنى أن تُحذف منها جينة معينة لدراسة وظيفتها من خلال الآثار المترتبة على غيابها. وقد طوَّرت شركة ليكسيكون جينيتكس (Lexicon Genetics) طرائق منهجيةً متقدمةً لتخليق الفئران "المنقوصة جينياً"، وهي تسعى لأن تشمل دراساتها التجريبية كل الجينيات الموجودة في جينوم الفئران. وقد تمَّ توسيع تقنية الفئران "المنقوصة جينياً" لتشمل كائنات نموذجية أخرى مثل فطر الخميرة والدِّيدان المسماة (C. elegans).

وهناك تقنية ثالثة تعتمد على الاستفادة من كائنات حية نموذجية في دراسة وظائف الجينات البشرية، وعلى دراسات معمقة للوظائف الجينية (بما في ذلك آثار العقاقير الدوائية على جينة أو ترجمة بروتينية أو على تموضع بروتينات رئيسية في خلية ما) في الخلايا المستنبتة.

الكيمياء التوافيقيِّة

وتشمل هذه الطريقة تجميع مجموعات ضخمة من المركبات الكيميائية، بدلاً من الطريقة التقليدية، أي العضوية، المبنية على تجميع جزيء تلو الآخر. وتكون المركبات الناتجة في العادة جُزيئيات عضوية تجميعية صغيرة (مثل تلك التي تُطور كعقاقير دوائية مُرشحة في الصناعات الدوائية)، ولكن قد تكون أيضاً في شكل بِبْتايد أو أليغونيوكليوتايد أو أليغوسكارايد. أما في حال إنتاج مجموعات من الجُزيئيات العضوية الصغيرة، فإن الكيمياء التوافيقيَّة تقوم على الخطوات الثلاث الآتية:

- طرائق منهجية لتعديل المركبات البادئة كيميائياً.
- طرائق تجميعية مُؤتمتة لأعداد كبيرة من المركبات باستخدام هذه الطرائق.
- وسائل لفهرسة الأعداد الكبيرة من المركبات الكيميائية المُصنعة بهذه الطرائق أو متابعتها.

الغربلة الفائقة السرعة

في ظل الكميات الضخمة من المركبات الكيميائية (المُجمعة من خلال الكيمياء التوافيقية) والكميات الضخمة من المنتجات الطبيعية ومجموعات المركبات التقليدية المخزنة في الشركات الدوائية، تتم الاستعانة بنظم الأتمتة لتحليل هذه المركبات بطريقة منهجية والتحقق من أنشطة بيولوجية معينة. وتسمى هذه العملية الغربلة الفائقة السرعة. وقد تكون التحليلات المعتمدة في الغربلة الفائقة السرعة تقليديةً، مثل التحليلات المرتبطة بالأنزيمات أو المُستقبلات، وقد يتم تطوير هذه التحليلات من خلال تقنيات مبحث الجينوميات الوظيفية (مثل التحليلات الخلوية مع قراءة فِلْوَريَّة).

تصميم العقاقير الدوائية بطريقة بنيوية

تعتمد هذه المنهجية على طرائق حاسوبية وتسعى دراسة بنى ثلاثية الأبعاد للبروتينات المُستهدفة فيسهل هذا تصميم عقاقير أكثر دقةً وملاءمةً. وتمكن هذه

المنهجيات - فضلاً عن التقنيات الكيميائية المتقدمة - خبراء الكيمياء الطبية من تجميع مركبات قد تكون أكثر فاعليةً كعقاقير دوائية تجريبية مقارنةً مع الجُزيئيات "الشبيهة بالعقاقير" التي تتوصل إليها الكيمياء التوافيقية. وقد تساعد هذه المنهجيات أيضاً علماء الكيمياء في تصميم عقاقير دوائية قادرة على إحداث تغييرات في أنواع الجزيئيات المستهدفة تتجاوز الأنواع المحدودة من الجزيئيات المستهدفة في الكيمياء الطبية التقليدية.

المعلوماتية الحيوية

يشير مصطلح المعلوماتية الحيوية (bioinformatics) إلى التحليلات الحاسوبية للبيانات البيولوجية. وتشمل هذه العملية تخزين البيانات وتناولها وإتاحتها وتحليلها بطريقة ميسرة، وهي تغطي البيانات المأخوذة من مبحث الجينوميات والبروتينيات والكيمياء التوافيقية. أما مصطلح المعلوماتية الكيميائية (cheminformatics) فيشير إلى التحليلات الحاسوبية للبيانات المستمدة من التقنيات الكيميائية المتقدمة، علاوةً على المعلومات ذات الصلة اللازمة لذلك في عمليات اكتشاف العقاقير الدوائية والدراسات الأساسية، مثل بيانات المرضى. وقد تقدم مبحث المعلوماتية الحيوية تقدماً واسعاً بسبب الكميات الكبيرة من البيانات المتراكمة في قواعد البيانات الضخمة التي تضم تسلسلات الدنا والتسلسلات البروتينية، فضلاً عن المعلومات الأخرى ذات الصلة بذلك، مثل تلك المتعلقة بالتفاعلات البروتينية ـ البروتينية، والبنى البروتينية الثلاثية الأبعاد، وتأثير تفاعلات العقاقير الدوائية على هذه البنى، والترجمات الجينية (المستمدة على سبيل المثال من الرقاقات الجينية)، والترجمات البروتينية في الخلايا والأنسجة والكائنات المختلفة في الظروف المختلفة.

وتُعد المعلوماتية الحيوية مبحثاً مهماً بالنسبة إلى المختصين بالبيانات المستمدة من مبحث الجينوميات والتقنيات المتقدمة في اكتشاف العقاقير الدوائية. وعلى سبيل المثال تم تطوير أدوات معلوماتية للمساعدة في رسم الخريطة والتسلسلات للدنا، بالإضافة إلى البحث في بيانات الدنا وتسلسلها وتحليلها. ومن الوظائف المهمة لهذه الأدوات أنها تحدد مواضع تشفير الجينات وتساعد في رصد التشابهات التسلسلية. وقد يستخدم الباحثون

لوغاريتمات التشابهات لتحديد الجينات البشرية المتطابقة مع جينة مستهدفة في عقاقير دوائية ذات جزيئات صغيرة. ومن المرجَّح أن تشفِّر مثل هذه الجينات البروتينات المنتمية إلى العائلة البروتينية نفسها للهدف المقصود. وإذا ما تم التحقق من ملاءمة هذه البروتينات الجديدة كأهداف لأمراض معينة، فإنه من المرجح أن يتم تعديلها بواسطة جزيئات عضوية صغيرة مشابهة للمركبات المعروفة (على نمط العقار الأصلي الذي يتم تسويقه) التي تُعدِّل في الأصل الهدف المقصود. ثم يستعرض الباحثون المجموعات الضخمة من المركبات التوافيقية المشابهة للعقار الأصلي الذي يتم تسويقه، فيجعلهم ذلك يتوصلون إلى عقاقير مرشحة للأهداف الجديدة. ويستخدم بعض الباحثين والشركات المتخصصة مُصطلح الجينوميات الكيميائية (chemogenomics) للإشارة إلى عملية استعراض مجموعات المركبات التوافيقية مقابل مجموعات كاملة من البروتينات، ومن ثم استخدام معلومات البنى البروتينية في تصميم "مجموعات مُوجَّهة" تضم مركبات من المرجح أن تتفاعل مع بروتينات عائلة بروتينية معينة.

ويمثل التقدم الذي يشهده مبحث الجينوميات ومبحث البروتينيات والتقنيات المتقدمة في اكتشاف العقاقير الدوائية تحدياً صعباً للمعلوماتية الحيوية والبيولوجيا الحاسوبية. وعلى سبيل المثال يطور العلماء نماذج حاسوبية بيولوجية لفهم الطرائق البيولوجية، ونماذج للخلايا الميكروبية المصممة للتنبؤ، على سبيل المثال، بآثار عقاقير معينة على هذه الخلايا. ومن الناحية العملية، تود الشركات الدوائية وشركات التقنية الحيوية أن يكون لديها في التو واللحظة نظم بيانات وإدارة معلومات قادرة على دمج أقسام البحث والتطوير المتخصصة في مجال الجينوميات. ويتعين على مثل هذه النظم أن تدمج الجينوميات والبروتينيات والجينوميات الوظيفية مع البيانات الكيميائية والدوائية والبيولوجية وربما المخبرية. وستمكن هذه النظم العلماءَ من الانتقال من بيانات الجينوميات والبروتينيات إلى الأهداف المثبتة والمركبات الأولية. غير أنه من الصعب تطوير مثل هذه النظم بسبب عدم التوافق بين البرمجيات المختلفة الخاصة بالمباحث العلمية علاوةً على اختلاف أنواع البيانات نفسها (مثلاً بيانات التسلسلات مقابل الصور)، فضلاً عن عدم التوافق بين البرمجيات المستخدمة لمعالجة البيانات نفسها ولكن في مختبرات

مختلفة. وتعكف شركات المعلوماتية الحيوية وأهمها (LION Bioscience) و(Ipedo) على تطوير أول نظم مصممة لدمج المباحث المتخصصة في اكتشاف العقاقير الدوائية، غير أنها مازالت في مرحلة مبتدئة.

الجينوميات الدوائية

تشير الجينوميات الدوائية إلى دراسة الفروقات الجينية الفردية ودورها في تغير استجابة الأفراد لدواء معين فيؤثر هذا أخيراً في نتيجة المعالجة. وتؤثر الفروقات الجينية الفردية في طريقة تأيُّض العقاقير الدوائية. وعلى سبيل المثال، قد يكون صعباً أن تُعطى جُرعةٌ كافيةٌ من دواء معين لإنسان يُؤَيِّضُ الأدوية بسرعة بالغة. وبالمقابل، قد تتراكم الأدوية إلى مستويات عالية في الإنسان الذي يُؤَيِّضُ الأدوية ببطء شديد حتى إن هذه الأدوية قد تصل إلى حد السُّمِّية. وإذا ما عرف الأطباء "المؤَيِّضين السريعين" من "المؤَيِّضين البطيئين" من مرضاهم فإنهم سيحددون الجُرعة بحسب حالة كل فريق. وقد تؤثر الفروقات الجينية الفردية أيضاً في سُمِّية العقاقير وفاعليتها بطرائق مختلفة.

لقد أضحى مبحث الجينوميات الدوائية الوليد واقعاً بفضل تطوير طرائق فائقة السرعة في اكتشاف الفروقات الجينية المشتركة بين الأفراد ورسم خريطة هذه الاختلافات الجينية. ومن أكثر الفروقات الجينية شيوعاً ما يُسمى بوليمورفيزم النيوكليوتايد الواحد. ويُشار إلى الفروقات الجينية الفردية المرصودة في الموقع نفسه من الكروموسوم باسم بوليمورفيزم (بمعنى "تعدد الأشكال")، أما بوليمورفيزم النيوكليوتايد الواحد فالفروقات في القاعدة النيوكليوتايدية الواحدة. وتشمل أشكال البوليمورفيزم الأخرى: إقحام المادة الجينية أو حذفها أو نسخها أو إعادة ترتيبها، وتشمل هذه الأشكال كميات من معلومات الدنا تفوق بوليمورفيزم النيوكليوتايد الواحد الآنفة الذكر.

وبعد أن يتحدد بوليمورفيزم النيوكليوتايد الواحد وتوضع خريطته، يتمكن العلماء من تحديد الأنماط الجينية للأفراد، أي تحديد أشكال بوليمورفيزم النيوكليوتايد الواحد التي توجد بكثرة في بنيته الجينومية. وإذا ما قرر العلماء أشكال بوليمورفيزم النيوكليوتايد

الواحد المرتبطة باستجابة معينة لدواء معين أو المرتبطة بداء معين، فقد تساعد الأنماط الجينية الفردية الأطباءَ في تحديد استجابة كل فرد للعقاقير الدوائية المختلفة.

تطبيقات الجينوميات الدوائية

يتوقع الباحثون المختصون في مجال الجينوميات الدوائية والخبراء أن يوصلنا مبحث الجينوميات الدوائية إلى عصر "الأدوية الشخصية"، بمعنى أن توصف أدوية معينة لجماعات معينة ذات سمات جينية معينة. وفي هذا السياق، ستسعى الشركات الدوائية وشركات التقنية الحيوية لتطوير هذه العقاقير الدوائية وكذلك تطوير اختبارات تشخيصية جينية معينة لتحدد احتمال كون النمط الجيني للمريض مطابقاً لهذا الدواء أو لا. لذا سيجري الأطباء الاختبارات الجينية التشخيصية قبل أن يصفوا له دواءً محدداً.

غير أن تطبيقات الجينوميات الدوائية في اكتشاف العقاقير الدوائية وتطويرها مازالت في مراحلها الأولى. ويُستخدم تحليل بوليمورفيزم النيوكليوتايد الواحد وغيره من المنهجيات الجينية على نطاق واسع في تحديد الأهداف. ويتضمن ذلك تحديد الجماعات التي تُصاب بمرض ما بسبب شكل معين أو أشكال عدة من بوليمورفيزم النيوكليوتايد الواحد، ثم وضع خريطة لبوليمورفيزم النيوكليوتايد الواحد عند منطقة تشفير البروتينات في الجينة التي يُعتقد أنها تشفر بروتيناً مستهدفاً معيناً. غير أن الجينوميات الدوائية لا تُستغل على نطاق واسع في مجالات أخرى مرتبطة باكتشاف العقاقير الدوائية وتطويرها.

وقد تكون للجينوميات الدوائية فائدة في المراحل الأولى من اكتشاف الأدوية وتطويرها، من خلال استبعاد المركبات التي قد تكون سامةً في مرحلة مبكرة. وقد تكون الجينوميات الدوائية أكثر شيوعاً في معالجة السرطان منها في غيره. فالسرطان يحدث نتيجة تغيرات جينية في خلايا معينة من الجسم مقارنةً مع الاختلافات الجينية في الخط الجرثومي. وبسبب تراكم هذه التغيرات، تتمكّن هذه الخلايا من الإفلات من الضوابط الفسيولوجية الطبيعية لتصبح سرطانية وتَنبثّ في الجسم لاحقاً. ويحاول العلماء أن يصمموا عقاقير

دوائية تستهدف التغيرات الجينية في أنواع معينة من الخلايا السرطانية، التي قد تكون أكثر كثافةً من تحولات النيوكليوتايد الواحد. ويُستعان بالجينوميات الدوائية أيضاً في تحديد مرضى السرطان الذين قد تصيبهم المعالجة الكيميائية التي يخضعون لها بآثار جانبية حادة وبالغة. وفضلاً عن ذلك طُرح عقاران جديدان للسرطان في الأسواق لا يُوصفان لمريض إلا بعد خضوعه لفحوص تشخيصية للتأكد من أن خلاياه السرطانية تفرز الجزيئيات المستهدفة التي يثبطها هذان العقاران. وتنقسم الاختيارات التشخيصية السابقة لإعطاء هذه العقارين إلى: التَّهجين الفِلَّوري الموضعي (أي وسم الكروموسوم بمُستكْشَفَة دنا فلورية خاصة للجينات المستهدفة غير الطبيعية ومراقبة النتائج تحت المِجْهر) أو الكيمياء النُّسجية المناعية (أي وسم الخلايا بأجسام مضادة فِلَّورية خاصة بالبروتينات المستهدفة ومراقبة النتائج تحت المجهر)، ولا تُعتمد طريقة بوليمورفيزم النيوكليوتايد الواحد أو غيرها من مناهج تحديد الأنماط الجينية.

ولا تُستغل الجينوميات الدوائية في المجالات العلاجية الأخرى إلا نادراً، خاصة وأن هناك مخاوف في الصناعة الدوائية من أن يؤدي تصميم عقاقير دوائية لجماعات محدودة ذات سمات جينية مشتركة إلى ما لا يتفق مع نمط الأعمال الذي تتبناه الشركات الدوائية العملاقة التي طالما سعت لتطوير أدوية فائقة تناسب المرضى كافة وتحقق لها مليارات الدولارات. غير أن الكثير من الأدوية المطروحة في الأسواق الآنَ لا تناسب نسبةً عاليةً من المرضى المعنيين، سواء من حيث الفاعلية أو الآثار الجانبية. ولكن بالمقابل قد يقرر الطبيب المستاء و/ أو مريضه المستاء ألا يواصل تناول دواء معين لعدم تحقيقه الفاعلية المرجوة، وهذا يقلل العائدات التي تحققها الشركة الدوائية المنتجة له. (وهذا ينطبق تحديداً على الأدوية المصممة لفترات علاجية ممتدة أو مدى الحياة مثل عقار ستاتين الخافض للكوليسترول، أو أدوية ضغط الدم، أو عقاقير النوع الثاني من داء السكري). وقد تحقق الأدوية المُستهدفة أو المخصصة جينياً نسبةً توافقيةً عاليةً وفاعلية فائقة، وهذا قد يعوض حقيقة أن عدداً محدوداً فقط من المرضى تُعطى لهم هذه الأدوية، وحقيقة أن على العلماء أن يطوروا أدويةً عدة لجماعات مختلفة تعاني الداء نفسه.

من ناحية أخرى، هناك عقبات ضخمة تقف في طريق تطوير اختبارات تشخيصية لتحديد استجابة المرضى لدواء معين مطروح في الأسواق فعلياً؛ لأن مثل هذه الاختبارات ستقلل فائدة هذه العقاقير وتحصر فاعليتها في فئة دون أخرى. ومن المرجح أن تُطبق الجينوميات الدوائية في مجال السرطان أكثر من أي مجال آخر؛ حيث إن تناول مريض مصاب بالسرطان دواء غير مناسب قد يهدد حياته فعلياً. وكما أوضحنا سابقاً من المرجح أن تعكف شركات دوائية صغيرة على تطوير الأدوية الموجهة لجماعات محدودة (جماعات من المرضى مُحَدَّدة جينياً ومشتركة بمرض ما)؛ لأن ذلك لا يتفق مع استراتيجيات الشركات الدوائية العملاقة.

ولكن، على المدى البعيد، سيتقدم مبحث الجينوميات الدوائية وسيطور تطبيقات لها أسواقها الضخمة، وهذا سيجعلنا نشهد حقاً عصر الأدوية الشخصية. وعلى سبيل المثال قد يتم في نهاية المطاف تطوير أدوية قادرة على الحؤول دون إصابة جماعات بمرض ما، لديها القابلية الجينية للإصابة به (مثل النوع الثاني من داء السكري أو أشكال معينة من السرطان على سبيل المثال). وقد تُعطى هذه الأدوية طوال الحياة فيحقق هذا للشركات الدوائية التي طورتها عائدات ضخمة. من ناحية أخرى قد يصبح أمراً شائعاً تطوير أدوية عدة لجماعات محدودة ذات سمات جينية متشابهة (ربما على يد شركات دوائية صغيرة) للمعالجة من أمراض معينة وليس للوقاية منها، في الفترة بين عامي 2010 و2020.

المشاركون

جمال سند السويدي

مدير عام مركز الإمارات للدراسات والبحوث الاستراتيجية، وأستاذ العلوم السياسية المساعد بجامعة الإمارات العربية المتحدة. سبق له أن درّس عدة مساقات، منها منهجية البحث العلمي والثقافة السياسية، والنظم السياسية المقارنة والعلاقات الدولية، في كل من جامعة الإمارات العربية المتحدة وجامعة ويسكونسن بالولايات المتحدة الأمريكية. وحصل على درجتي الماجستير والدكتوراه في العلوم السياسية من جامعة ويسكونسن.

كتب الدكتور جمال سند السويدي دراسات ومقالات بحثية حول العديد من الموضوعات، منها مفهوم التصورات الديمقراطية في المجتمعات العربية والغربية، والمرأة والتنمية، ومواقف الرأي العام في دولة الإمارات العربية المتحدة من أزمة الخليج الثانية. من إصداراته بحث بعنوان: **«أمن الخليج والتحدي الإيراني»** نشر في دورية (*Security Dialogue*). كما شارك في تأليف كتاب: **«الديمقراطية والحرب والسلام في الشرق الأوسط»**. وقام الدكتور جمال سند السويدي بإعداد كتاب: **«حرب اليمن 1994: الأسباب والنتائج»**، وكتاب: **«إيران والخليج .. البحث عن الاستقرار»** باللغتين العربية والإنجليزية، كما شارك في تأليف أحد فصوله. وقد حصل مركز الإمارات للدراسات والبحوث الاستراتيجية على جائزة أفضل ناشر عن هذا الكتاب، الذي نال أيضاً جائزة أفضل كتاب نشر في عام 1997 في مجال العلوم الإنسانية والاجتماعية، وذلك ضمن المسابقة التي نظمها معرض الشارقة الدولي للكتاب في دورته السادسة عشرة. كما قام الدكتور جمال سند السويدي بإعداد كتاب: **«مجلس التعاون لدول الخليج العربية على**

مشارف القرن الحادي والعشرين». وشارك في تحرير كتاب «الدفاع الجوي والصاروخي ومواجهة انتشار أسلحة الدمار الشامل وتخطيط السياسة الأمنية».

سو بايلي

شغلت الدكتورة سو بايلي منصب مساعدة وزير الدفاع الأمريكي للشؤون الصحية، في الفترة 1998 ـ 2000، ومنصب نائبة مساعد وزير الدفاع للخدمات الإكلينيكية في مكتب مساعد وزير الدفاع للشؤون الصحية، في الفترة 1994-1995، كما كانت ناطقة باسم حملة إصلاح الرعاية الصحية، التي أطلقها الرئيس الأمريكي الأسبق بيل كلنتون عام 1993. وهي تعمل حالياً محللة أخبار في قناة "إن بي سي".

كانت الدكتورة بايلي، في أثناء شغلها منصب مساعدة وزير الدفاع الأمريكي للشؤون الصحية مسؤولة عن حماية صحة أفراد القوات المسلحة بالولايات المتحدة الأمريكية، سواء قبل عمليات الانتشار أو بعدها، وفي حالة حدوث إصابات في ميدان المعركة، وكذلك من الأمراض المستوطنة والأخطار البيئية. وقد قامت في أثناء توليها هذا المنصب برحلات إلى مناطق الحروب ومواقع الاشتباك؛ ومنها خليج جوانتنامو وهاييتي ومنطقة الخليج العربي والبوسنة والهرسك وكوسوفا.

والدكتورة بايلي طبيبة نفسية حاصلة على البورد وتتمتع بخلفية إكلينيكية وأكاديمية من بينها عضويتها في هيئة التدريس في كلية الطب بجامعة جورج تاون. وقد تولت الدفاع عن احتياجات المعوقين القانونية والطبية. وهي خبيرة في لغة الإشارة للصم، وعملت بوصفها استشارية لكلية جالوديت للصم، ونشرت عدداً من موضوعات الرعاية الصحية، وقدمت المشورة حولها.

وهى تحمل درجة البكالوريوس من جامعة ميريلاند، ودرجة الدكتوراه في تقويم العظام من كلية فيلادلفيا لطب تقويم العظام. وقد أتمت فترة تدريبها وعملت طبيبة مقيمة بجامعة جورج واشنطن، كما أتمت الزمالة في الدراسات العليا في مجال الطب بجامعة جونز هوبكنز. وأتمت أيضاً دورات تخصص إضافية في طب الطوارئ بجامعة

هاورد، وطب الأمراض الباطنية في كلية طب هارفارد، والطب النفسي وطب الأعـصاب في كلية الطب بجامعة ييل.

قبل تعيين الدكتورة بايلي في منصب نائبة مساعد وزير الدفاع للخدمات الإكلينيكية، تمت ترقيتها إلى رتبة رائد في البحرية الأمريكية.

خوان إنريكس ـ كابوت

يشغل الدكتور خوان إنريكس ـ كابوت منصب باحـث أول ومـدير مـشروع علـوم الحياة في كلية هارفارد لإدارة الأعمال. وتنصب اهتماماته البحثية على مناطق التقـاطع بـين العلوم والاقتصاد والسياسات العامة، بالتركيز على العلاقة المتبادلة بين التقنية والاقتـصاد والسياسة وظهور علوم الحياة، وتحليل التطورات التـي أدت بـالكمبيوتر وعلـم الجينـات والتقنيات الحديثة الأخرى إلى تشكيل حـاضر العـالم ومـستقبله. وقـد شـملت المناصـب السابقة التي شغلها وظيفة العضو المنتـدب لهيئـة التطـوير العمـراني في مكـسيكو سـيتي، والمنسق العام للسياسة الاقتصادية، وكبير موظفي وزارة الخارجية المكسيكية.

كتب الدكتور إنريكس الكثير من دراسات الحالة، وصدرت عن كلية هارفارد لإدارة الأعمال، بالإضافة إلى مقالات نشرها فى مجلات مختلفـة؛ مـن بينهـا: **مجلـة العلـوم**، و**مجلـة السياسة الخارجية**، و**نيويورك تايمز**، و**اتجاهات في التقنية الحيوية**. وهو محرر متعاون لـدى **مجلة القانون الحيوي والأعمال**. وقد فازت مقالته التي شـاركه فى كتابتهـا راي جولـدبيرج عام 2000، «تحويل الحياة تحويل للأعمال »، بجائزة مـاكنزي في العـام نفـسه. وهـو أيـضاً مؤلف كتاب: **حينما يدركك المستقبل: كيف يسهم علم المورثات والقوى الأخرى في تغيير حياتك وعملك واستثماراتك وعالمك؟** (2001).

والدكتور إنريكس عضو فى الهيئات التابعة للجنة الاستشارية للسياسات الاقتـصادية فى وزارة الخارجية بالولايات المتحدة الأمريكية (مجموعة التقنية الحيوية)، ومجلـس علـم الوراثـة الاستشاري، التابع لكلية الطب بجامعـة هارفـارد، ومؤسـسة كـابوت مـايكرو الكترونكس، ومجلس رؤساء الإدارة الدولي بجمعية الأمريكتين، ومعهد أبحاث الجينوم.

جون جيرهارت

يشغل الدكتور جون جيرهارت منصب أستاذ الطب بكرسي سي. مايكل أرمسترونج، في معهد هندسة الخلايا بجامعة جونز هوبكنز. وهو أيضاً أستاذ الأمراض النسائية والولادة والفسيولوجيا والطب المقارن في كلية الطب، وأستاذ الكيمياء الحيوية وعلم الأحياء الجزيئي في كلية بلومبيرج للصحة العامة، بالجامعة نفسها.

ركز الدكتور جيرهارت في أبحاثه على تطوير تقنيات التكاثر البشري واستخدامها. وقد أسهمت أبحاثه المهمة حول فصل الخلايا الجذعية في الأجنة البشرية ودراستها في التمهيد لتطوير استخدامات زراعة الأنسجة في علاج الإصابات والأمراض الانتكاسية؛ مثل السكري ومرض باركنسون والسكتة الدماغية وإصابات النخاع الشوكي. وقد قاد فريق الأبحاث المسؤول عن التحديد الأولي للخلايا الجذعية البشرية القادرة على التطور إلى أنواع الخلايا كلها، وفصلها. ونشرت النتائج الرائدة التي تم التوصل إليها في التقرير الذي يكثر الاستشهاد به وعنوانه «إمكانات جديدة محتملة للخلايا الجذعية في الأجنة البشرية» (جون جيرهارت وآخرون، مجلة ساينس، المجلد 282، 6 تشرين الثاني/ نوفمبر 1998).

وقد ألف جيرهارت، ما يصل إلى 221 إصداراً أو شارك في تأليفها، وهي تتعلق بنقل الجينات، ومتلازمة داون (المغولية)، والخلايا الجذعية.

يحمل جيرهارت درجة البكالوريوس من جامعة بنسلفانيا الحكومية، ودرجة الماجستير في علم الوراثة النباتي من جامعة نيوهامبشاير، ودرجة الدكتوراه في علم الوراثة من جامعة كورنيل. وقد حصل على عدد من الجوائز العلمية؛ منها جائزة (Basil O'Connor Starter Research Award)، من مؤسسة (March of Dimes Birth Defects Foundation)، وجائزة (Golden Plate Award)، من أكاديمية الإنجاز الأمريكية. وقد اختير لكرسي جوزيف بي. كنيدي (الابن) لأبحاث التخلف العقلي.

راي جولدبيرج

الدكتور راي جولدبيرج هو أستاذ فخري للأعمال الزراعية وإدارة الأعمال في كلية هارفارد لإدارة الأعمال؛ حيث يشغل منصب رئيس هيئة التدريس في الحلقة الدراسية للإدارة العليا للأعمال الزراعية. وهو أيضاً رئيس الهيئة الاستشارية للدليل الذي يصدر عن البنك الدولي بعنوان **الدليل إلى تطوير أسواق ومشروعات زراعية**، كما يشغل أيضاً منصب رئيس اللجنة الفرعية للتنمية الاقتصادية والاجتماعية في إطار عالمي، التابعة لهيئة الزراعة والموارد القومية في مجلس الأبحاث القومي.

ويشغل جولدبيرج عضوية مجالس إدارات ما يربو على أربعين مؤسسة للأعمال الزراعية والتعاونيات الزراعية والشركات التقنية. وهو كذلك أحد المؤسسين والرئيس الأول لرابطة إدارة الأعمال الزراعية، ومستشار واستشاري في عدد كبير من الجهات الحكومية والمؤسسات المالية والشركات الخاصة.

وقد شارك في تأليف وتحرير 23 كتاباً و110 مقالات، كما كتب دراسات وأشرف على تطوير أخرى في أكثر من 1000 دراسة حالة. ويتناول أحدث أعماله موضوع تطوير استراتيجيات لمديري المؤسسات الخاصة والعامة والتعاونيات لتحديد مواقع شركاتهم ومؤسساتهم ودوائرهم الحكومية ضمن نظام غذائي عالمي سريع التغير. ومن مقالاته المنشورة حديثاً: «أعمال الدوائيات الزراعية» في مجلة **نيتشر بايوتكنولوجي** *(Nature Biotechnology)* (ملحق المجلد 17، 1999)، و«حروب الأغذية: السلام المحتمل» في مجلة **جورنال أوف لو، ميدسين آند إيسكس** *(Journal of Law, Medicine and Ethics)* (ملحق المجلد 28، العدد 4، 2000)، و«تحويل الحياة، وتحويل الأعمال: ثورة الحياة - العلم» في مجلة **هارفارد بزنس رفيو** *(Harvard Business Review)*، (بالاشتراك مع خوان إنريكس - كابوت، 2000)، وقد فاز هذا المقال بجائزة ماكنزي عام 2000.

عمل جولدبيرج أستاذاً في كلية هارفارد للدراسات العليا في إدارة الأعمال منذ عام 1955، وأصبح أستاذاً فخرياً في تموز/ يوليو 1997. وهو أيضاً أستاذ فخري وعضو في الكلية الزراعية الملكية في سيرنسستر بإنجلترا.

هيلين كويجلي

حصلت كويجلي على شهادة الماجستير في الدراسات الإسلامية والشرق أوسطية من جامعة تورنتو بكندا، وتخرجت في جامعة ماكجيل في التخصص ذاته. وعملت في قسم الشرق الأوسط في مكتبة كلية هارفارد مدة عامين؛ حيث عملت على مجموعة صغيرة من مواد اللغة التركية المكتوبة في النصوص الأرمنية، كما ساعدت في إخراج نسخة مطبوعة من الكاتالوج الأرمني للمكتبة. وعملت باحثة لغايات الدليل المرجعي للآداب الأرمنية المعاصرة 1500–1920 الذي قام بتأليفه كاي بي بارداكجيان، وفي الماضي، تركز عملها البحثي على التاريخ التركي في الفترة من القرن الثاني عشر إلى القرن الثالث عشر. وفي الأعوام الاثني عشر الماضية، عملت في مكتبة توزر بجامعة هارفارد في مجال فهرسة اللغات الأجنبية وكذلك في إجراء جرد الكتب النادرة الموجودة في المكتبة وحفظها، وهو العمل الذي شمل المخطوطات ولغات شعب المايا والملاحظات الميدانية المتعلقة بالآثار ودراسات الأجناس والسلالات البشرية.

ألان هابرمان

يشغل الدكتور ألان هابرمان منصب رئيس مؤسسة هابرمان، وهي مؤسسة استشارية متخصصة في إدارة العلوم والتقنيات في صناعتي الأدوية والتقنية الحيوية وتقويمها في الولايات المتحدة الأمريكية. وينصب تركيز الدكتور هابرمان في عمله الاستشاري على استخدام تقنيات متقدمة في اكتشاف العقاقير، ولاسيما التقنيات المتعلقة بعلمي الجينوم والبروتينات، وكذلك على تقويم الفرص، وتقويم قنوات اكتشاف العقاقير وتطويرها، مع تركيز الجهد اللازم على شركات التقنيات الحيوية العريقة والناشئة. وقبل

تأسيسه مؤسسة هابرمان، شغل منصب مدير مركز هندسة التقنية الحيوية فى جامعة تافتس.

ويشغل الدكتور هابرمان أيضاً منصب رئيس المجموعة الصيدلانية الحيوية؛ وهي مجموعة تضم فريقاً من الاستشاريين والخبراء؛ أسست لمساعدة الشركات الصيدلانية وشركات التقنية الحيوية فى التعرف إلى التقنيات المتطورة الواعدة وتبنيها، ومن ثم الإسراع فى اكتشاف عقاقير جديدة وتطويرها.

ألف الدكتور هابرمان الكثير من الكتب عن صناعتي الأدوية والتقنية الحيوية وعن تقنياتها ومنتجاتها، وألف كذلك عن اكتشاف العقاقير وتطويرها في مجالات الأمراض الرئيسية. ومن مؤلفاته الحديثة: **المسار الكيميائي الحيوي وتحليل النظم لتحديد الهدف وتثبيته** (2002)، و**تحديد الهدف وتثبيته: الطرائق الرئيسية لتحسين فائدة اكتشاف العقاقير وفاعليتها وتطويرها** (2001، بالاشتراك مع ديردر لوكوود ومالوري برانكا)، و**من البيانات إلى العقاقير: استراتيجيات للاستفادة من تقنيات اكتشاف العقاقير الجديدة** (1999، بالاشتراك مع جورج لينز ودينيس فاكارو)، المتعلقة باكتشاف العقاقير وتطويرها.

وهو يحمل درجة الدكتوراه في الكيمياء الحيوية والبيولوجيا الجزئية من جامعة هارفارد.

ميشيو كاكو

يشغل الدكتور ميشيو كاكو منصب أستاذ الفيزياء النظرية في كلية سيتي كوليدج ومركز الدراسات العليا بجامعة سيتي في نيويورك. كما عمل أيضا أستاذاً زائراً في معهد الدراسات المتقدمة فى جامعة برينستون، وجامعة نيويورك، وحاضر في مناطق متعددة من العالم.

انصبت اهتماماته البحثية على تطوير "نظرية كل شيء"، ومن ثم المساعدة على استكمال عمل ألبرت أينشتاين لاختزال قوانين العالم الطبيعية في صيغة مختصرة واحدة. وقد شارك الدكتور كاكو في تطوير نظرية المجال الخطي، كما كتب أول بحث عن الجاذبية الفائقة المطابقة وانهيار التناسق الفائق عند درجات الحرارة المرتفعة. وهو حجة على المستوى الدولي في مجال الفيزياء النظرية والبيئة.

تعد كتب الدكتور كاكو مراجع مقررة في عدد كبير من أشهر مختبرات الفيزياء. كما أن كتابيه: **الفضاء الافتراضي: أوديسة علمية خلال عوالم متوازية، والمنعطفات الزمنية، والبعد العاشر** (1994)، ورؤى: **كيف سيحدث العلم ثورة في القرن الحادي والعشرين؟** (1997)، أصبحا من أكثر الكتب رواجاً في العالم، وترجما إلى لغات عدة. ومن كتبه الأخرى، الكتاب الذي ألفه بالاشتراك مع دانيال أكسلرود بعنوان **للفوز بحرب نووية** (1986)، وكذلك الكتاب الذي ألفه بالاشتراك مع جنيفر ترينر بعنوان **ما بعد أينشتاين: الخطوط الفائقة والبحث عن النظرية الأخيرة** (1995)، وكتاب **الخطوط والمجالات المطابقة ونظرية إم** (2002).

شارك الدكتور كاكو في عدد من البرامج على قنوات "سي إن إن"، و"بي بي إس"، و"بي بي سي"، وغيرها. كما يقدم **برنامجاً إذاعياً أسبوعياً**، مدته ساعة، عن العلم، يبث من محطات عدة فى أنحاء الولايات المتحدة الأمريكية، وكثيراً ما تورد الصحف العالمية مقتطفات منه. وهو ملتزم أيضاً بمبدأ نزع الأسلحة النووية، كما أنه عضو في هيئة سين/ فريز الاستشارية القومية وهي أكبر جماعة سلام فى الولايات المتحدة الأمريكية.

تخرج الدكتور كاكو بامتياز فائق في جامعة هارفارد عام 1968، كما حصل على درجة الدكتوراه من جامعة كاليفورنيا في بيركلي عام 1972.

جلين ماكجي

يشغل الدكتور جلين ماكجي منصب أستاذ الأخلاقيات الطبية والفلسفة والتاريخ، وأستاذ علم اجتماع العلوم في قسم الأخلاقيات الطبية بكلية الطب التابعة لجامعة بنسلفانيا. وهو أيضاً المدير المساعد للتعليم وزميل أول في مركز الأخلاقيات الطبية بالجامعة نفسها.

ويعد كتابه **الطفل الكامل: المنهج العملي لعلم الوراثة** (1997، طبعة جديدة عام 2000) من أوسع كتبه انتشاراً، وهو يمثل أول توضيح للنظرية العملية للأخلاقيات الطبية ومعالجة واسعة النطاق للقضايا الأخلاقية في علم الوراثة التناسلية. كما كتب أيضاً أكثر من مئتي مقالة وحرر كتباً عدة أخرى.

تم تعيين الدكتور ماكجي عضواً في الكثير من فرق العمل الفيدرالية في مجال علم الوراثة، ومن ذلك مشاركته - بوصفه متخصصاً - في الأخلاقيات ضمن هيئة تقويم الاختبارات الجينية في هيئة الغذاء والدواء الأمريكية. كما تبادل الرأي والمشورة مع مجموعات الدفاع عن المرضى ومرشحي المكتب القومي الأمريكي ومجالس الشركات، وقدم شهاداته أمام مجلسي النواب والشيوخ في الولايات المتحدة الأمريكية. وقد اشترك هو وعالم الاستنساخ أيان ويلموت في تأليف مقالة ذائعة الصيت بعنوان «نموذج تنظيم الاستنساخ البشري» ضمن كتاب **مناقشة الاستنساخ البشري** الذي قام ماكجي بتحريره عام 1998 (الطبعة الثانية عام 2000).

كما كتب ماكجي بالتعاون مع باحث في جامعة بنسلفانيا أول تحليل للخلية الجذعية ضمن كتاب شارك في تحريره ونال عنه براءة اختراع بعنوان **من يملك الحياة؟** (2002)، ومن بين أعماله الأخرى تحرير كتاب **الأخلاقيات الطبية العملية** (1999، الطبعة الثانية عام 2002)، وله تحت الطبع كتاب **جينوم الجيل**.

وماكجي هو رئيس تحرير مجلة **ذا أمريكان جورنال أوف بايوتيكس**(*The American Journal of Bioethics*)، والمحرر الرئيس لسلسلة كتب **الأخلاقيات الطبية الأساسية** الصادرة عن معهد ماساشوستس للتكنولوجيا.

حصل ماكجي على درجة الدكتوراه من جامعة فاندربلت عام 1994، وهو يتمتع بعضوية لجنة فلسفة الطب التابعة للجمعية الفلسفية الأمريكية، وكذلك عضوية جمعية تقدم الفلسفة الأمريكية.

جون بيرس

يشغل الدكتور جون بيرس منصب مدير بحوث علوم الكيمياء والهندسة الحيوية بمختبرات دوبونت المركزية للبحث والتطوير في ويلمنجتن، بديلاواير، في الولايات المتحدة الأمريكية؛ حيث يقود المجهود البحثي في مجال استعمال التقنية الحيوية في تصميم المواد المهمة صناعياً وإنتاجها. وقد عمل في السابق مديراً للتخطيط الاستراتيجي والموارد، ومديراً للتقنية الجينية بقسم المنتجات الزراعية بشركة دوبونت؛ حيث كان مسؤولاً عن النشاط البحثي فى التقنية الحيوية الزراعية وتطبيقاتها فى أسواق الغذاء والعلف والمواد.

ويعد بيرس خبيراً دولياً متميزاً في مجال التقنية الحيوية، وهو متخصص فى تطوير المنتجات لاستعمالها فى الأغراض الزراعية والتجارية. وقد نشر ما يزيد على 40 بحثاً في المجلات العلمية، وكذلك يحاضر فى مختلف المحافل الدولية، وعادة ما يتم الاقتباس من كتاباته فى الصحف الكبرى. وقد انضم إلى إدارة البحوث المركزية في دوبونت عام 1982، وتركزت بحوثه حينذاك على علم الأنزيمات والبيولوجيا الجزيئية. وقد انتقل عام 1987 إلى قسم المنتجات الزراعية؛ حيث أسس مجموعة تنتج نباتات عبر ـ جينية، لها محتويات دهنية معدلة.

وتشمل أعمال بيرس المنشورة: مقال «استنساخ المواد غير المشبعة للحمض الدهني أوميجا-3 المأخوذ من النباتات العليا» (تأليف مشترك)، في دورية **بلانت فسيولوجي** (*Plant Physiology*) (المجلد 103، 1993)؛ ومقال «استعمال التقنية الحيوية لتعزيز

التموين الغذائي وحمايته: نقل فوائد التقنية»، في: **أمن الغذاء العالمي واستدامته: آثار التقنية الحيوية والاندماج الصناعي** (1999، تقرير مجلس التقنية الحيوية الزراعية القومي)؛ ومقال «إدراك وعد التقنية الحيوية النباتية والميكروبية» في دورية **ذا جورنال أوف بيولو آند بزنس** (*The Journal of BioLaw and Business*)، (ملحق 2000؛ ووزارة الخارجية الأمريكية).

حصل بيرس على شهادة البكالوريوس في الكيمياء الحيوية من جامعة بنسلفانيا، ودرجة الدكتوراه في الكيمياء الحيوية من جامعة ميتشجان. وعمل زميل بحث في جامعة ويسكونسن، وفي جامعة كورنيل أيضاً. وفي الفترة 1981 ـ 1982 عمل في المؤسسة القومية للعلوم زميل منحة لما بعد الدكتوراه، كما عمل في منحة مماثلة بمعهد الصحة القومي الأمريكي عام 1982.

أندرو جرين

يشغل السيد أندرو جرين منصب مدير العمليات في شركة ميرلين بيوساينسز (Merlin Biosciences)؛ حيث يشرف على أنشطة الاستثمارات ورفع التقارير وجمع الأموال. وفي تشرين الأول/ أكتوبر 2002 أصبح الرئيس التنفيذي للشركة؛ فصار مسؤولاً عن كل جوانب الشركة ذات الصلة بسلطة الخدمات المالية في المملكة المتحدة. وبصفته المدير الأول للاستثمار، فقد أصبح عضواً في لجنة الاستثمارات ومجلس مديري ميرلين بيوساينسز. وهو أيضاً مدير المحافظ المالية التابعة لصندوق شركة ميرلين، وصندوق شركة ميرلين بيوساينسز. وقبل ذلك، عمل السيد جرين في شركة ميرل لينتش الدولية؛ حيث كان مديراً للاستثمارات الصحية فيها. وكان قبل ذلك قد أسس قسم الاستثمار الصحي في بنك إتش أس بي سي الاستثماري. كذلك كان جرين عضواً في مجموعة العلوم الحياتية الاستشارية الاستراتيجية التابعة لمجموعة كاب جيميناي؛ حيث أدار الكثير من المشروعات الكبرى لمصلحة شركات فارماسيا وإيلي ليلي وجلاكسو وسميث كلاين بيكهام. كما عمل طوال عشر سنوات مع شركة بوز وألن وهاميلتون الدولية للاستشارات الإدارية في مكاتبها في كل من شيكاجو ولندن؛ حيث تولى في أثنائها

مسؤولية التطبيقات الصحية في أوربا، وكان كذلك عضواً في قسم التطبيقات الصحية في أمريكا.

وقد كان السيد جرين مستشاراً لقسم الخدمات الصحية الوطنية في بريطانيا؛ حيث عمل خبيراً في لجنة 2000 للرعاية الصحية لتقديم النصح والمشورة بشأن وضع استراتيجية تمويل الخدمات الصحية الوطنية. كما شارك في تقديم المشورة لوزراء الصحة في الحكومة السابقة. وقبل الانضمام إلى شركة بوز وألن وهاميلتون، عمل جرين في القسم المالي في شركة لايف مارك، وهي عبارة عن سلسلة مستشفيات أمريكية في هيوستن بتكساس في الولايات المتحدة الأمريكية. وعمل جرين أيضاً مسؤولاً فنياً في دراسة المؤسسات الصحية القومية - وهي الدراسة التي بلغت تكلفتها 10 ملايين دولار أمريكي - في كلية الطب بجامعة هارفارد ومستشفى ماساشوستيس العام في بوسطن. ويحمل جرين شهادة الماجستير في إدارة الأعمال والمحاسبة من جامعة رايس وشهادة البكالوريوس في التاريخ من جامعة كورنيل. وله الكثير من المقالات والكتابات حول سياسة الرعاية الصحية.

جيرمي ريفكن

مؤلف خمسة عشر كتاباً حول تأثير التغيرات العلمية والتكنولوجية على الاقتصاد، والقوة العاملة، والمجتمع، والبيئة. تُرجمت كتبه إلى أكثر من عشرين لغة، وهي تُدرس في المئات من الجامعات في أنحاء العالم كافة. وإضافة إلى كتاب **قرن التقنية الحيوية: تسخير الجينات وإعادة تشكيل العالم**، الصادر عام 1998، والذي يعد ضمن أكثر الكتب رواجاً في العالم في هذا المجال، فقد اشتهر وذاع صيته مؤلفاً لكتاب **نهاية عهد الوظيفة** (1995)، وكتاب **عصر الفرص** (2000)، الحائز على جائزة تقديرية؛ وقد استقصى فيه ريفكن التغيرات التي حدثت في النظام الرأسمالي في عصر التجارة الإلكترونية عبر الإنترنت. ويستكشف ريفكن في كتابه الجديد **الاقتصاد الهيدروجيني** الذي نشر في أيلول/ سبتمبر 2002 الآفاق والفرص الكبيرة التي سيتيحها العصر التجاري الجديد والتي لم يشهد لها التاريخ مثيلاً.

نال ريفكن درجة بكالوريوس في الاقتصاد من مدرسة وارتون للمالية والتجارة من جامعة بنسلفانيا حيث كان زميلاً منذ سنة 1994، وشهادة في الشؤون الدولية من مدرسة فليتشر للقانون والدبلوماسية من جامعة تافت. يعمل رئيس مؤسسة الاتجاهات الاقتصادية (The Foundation on Economic Trends)، ومستشاراً للكثير من رؤساء الدول والموظفين الحكوميين في أنحاء العالم كافة، وغالباً ما يلقي كلمات في المنتديات التجارية والعمالية والمدنية.

وقد حاضر ريفكن في أكثر من 50 جامعة، في نحو عشرين بلداً، خلال السنوات الخمس والعشرين الماضية. وتكرر ظهوره في برامج تليفزيونية؛ ومنها: برنامج قناة "سي إن إن" "كروسفير" (Crossfire)، وبرنامج "لاري كينج على الهواء"، وبرنامج "إي بي سي" "نايت لاين"، كما يسهم بتعليقاته الصحفية في الصحف العالمية الكبرى.

جريجوري ستوك

يشغل الدكتور جريجوري ستوك منصب مدير برنامج الطب والتقنية والمجتمع بكلية الطب بجامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس، كما أنه أستاذ زائر في قسم الخدمات الصحية. وهو أيضاً زميل أول زائر فى مركز دراسة النشوء والارتقاء وأصل الحياة. وتركز بحوثه على مشروع الجينوم البشري وتطبيقاته في بيولوجيا التكاثر، والاختبارات الجينية، وتطوير العقاقير، وسياسة الرعاية الصحية، والممارسة الطبية.

وقد نشر ستوك بحوثاً عن البيولوجيا التطويرية وتجدد الأعضاء وبعثرة ضوء الليزر، كما صمم برامج للحاسوب من أجل شبكات المصارف الإلكترونية. وفى كتابه **الإنسان الخارق: الدمج بين الإنسان والآلة في نظام عضوي عالمي متفوق** (1993)، يدرس المغزى التطوري الأوسع للتقدم التقني الذي أحرزته الإنسانية حديثاً. وبعد صدور هذا الكتاب أمضى ستوك سنة في منصب زميل في معهد وودرو ويلسون للشؤون العامة والدولية بجامعة برينستون.

ويعد كتابه **كتاب المسائل** (1985)، الذي درس فيه القيم واستقصاها، من أكثر الكتب رواجاً بحسب تصنيف صحيفة **نيويورك تايمز**، وقد ترجم إلى سبع عشرة لغة. حرر مع جون كامبل كتاب **هندسة خط الوراثة البشري: دراسة استقصائية للعلم ولأخلاقيات تعديل الجينات التي نورثها لأطفالنا** (1999)، وألف كتاب **إعادة تصميم الإنسان: مستقبلنا الجيني المحتوم** (2002). وقد تلقى ستوك طلباً لتقديم مذكرة استشارية إلى رئيس الولايات المتحدة الأمريكية حول "تحديات القرن المقبل".

يحمل ستوك درجة الدكتوراه في الفيزياء الحيوية من جامعة جونز هوبكنز، ودرجة الماجستير في إدارة الأعمال من جامعة هارفارد.

الهوامش

مقدمة

1. Richard W. Oliver, *The Coming Biotech Age: The Business of Bio-Materials* (New York, NY: McGraw-Hill, 2000), 7.

2. Jeremy Rifkin, *The Biotech Century: The Coming Age of Genetic Commerce* (London: Victor Gollancz, 1998, and New York, NY: Jeremy Tarcher, Inc., 1998), xii.

3. Ibid.

4. Ibid., 234.

5. Stan Davis and Bill Davidson, *2020 Vision: Transform Your Business Today to Succeed in Tomorrow's Economy* (New York, NY: Fireside, 1991), 187.

6. Thomas C. Wiegele, *Biotechnology and International Relations: The Political Dimensions* (Gainesville, FL: University of Florida Press, 1991), 1.

7. Scott P. Layne, Tony J. Beugelsdijk and C. Kumar N. Patel (eds), *Firepower in the Lab: Automation in the Fight Against Infectious Diseases and Bioterrorism* (Washington, DC: Joseph Henry Press, 2001), 267.

8. Rifkin, *The Biotech Century*, 3.

9. Wiegele, *Biotechnology and International Relations*, 9.

10. Oliver, *The Coming Biotech Age*, 56.

11. Ibid., 2.

12. Ibid., 221.

13. Ibid., 48.

14. E. Balázs, E. Galante, J.M. Lynch et al. (eds), *Biological Resource Management: Connecting Science and Policy* (Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2000), 188.

15. Ibid., 179.

16. Oliver, *The Coming Biotech Age*, 142.

17. Rifkin, *The Biotech Century*, xii.

18. Oliver, *The Coming Biotech Age*, 41, 45, 47.

19. Rifkin, *The Biotech Century*, 195.

20. Ibid.

21. Ibid.

22. Oliver, *The Coming Biotech Age*, 96.

23. Ibid., 106.

24. Ibid., 238.

25. Ibid.

26. Caldwell (1987) in Wiegele, *Biotechnology and International Relations*, 6.

27. Oliver, *The Coming Biotech Age*, 49.

28. Balázs et al. (eds), *Biological Resource Management*, 188.

29. Ibid.

الفصل الأول

1. "New Cure for Bubble Boy Disease," April 17, 2002, CBS News (www.cbs.com); see also *New England Journal of Medicine*, April 2002.

2. "First Gene Therapy for Alzheimer's," ABC News, April 11, 2001 (abcnews.go.com/sections/living/DailyNews/alzheimersgenetherapy 010 411.html).

3. Interview with Dr Leonard Hayflick. See also Leonard Hayflick, *How and Why We Age* (New York, NY: Ballantine Books, 1994).

4. Michio Kaku, *Visions: How Science will Revolutionize the 21st Century* (New York, NY: Anchor Books, 1997) 211; See also *New York Times*, December 7, 1993.

5. See *Science* 279 (1998) 349-352; See also *Nature Genetics*, January 1999; "Immortalizing Enzyme Does Not Make Human Cells Cancerous," University of Texas Southwestern Medical Center, January 4, 1999.

6. "New Study Shows Normal-Looking Clones May Be Abnormal," Whitehead Institute for Biomedical Research, MIT, Cambridge, MA, July 9, 2001 (www.wi.mit.edu).

7. "Scientists Decipher the Genetic Code of Malaria," The Institute for Genomic Research, Rockville, Maryland, October 2, 2002 (TIGR.org). See also *Nature magazine*, October 2002.

8. "Technique Could Improve Cartilage Repair," MIT News, July 18, 2002 (Thomson@mit.edu).

9. Kaku, *Visions*, 159. See also *Scientific American*, September 1996, 42.

10. "A Better Breed of Fish?: FDA Petitioned to Halt Release of Bio-engineered Salmon," ABC News, May 11, 2001.

11. Kaku, *Visions*, 218; Interview with W. Gilbert.

12. "Raising the Mammoth," *Discovery Channel*, 2000 (www.discovery.com).

الفصل الثاني

1. Julie A. Nordlee, Steve L. Taylor, Jeffrey A. Townsend, Laurie A. Thomas and Robert K. Bush, "Identification of a Brazil-Nut Allergen

in Transgenic Soybeans," *New England Journal of Medicine*, March 14, 1996, 688.

2. Marion Nestle, "Allergies to Transgenic Foods: Questions of Policy," *New England Journal of Medicine*, March 14, 1996, 726.

3. Aldous Huxley, *Brave New World* (Garden City, NY: Doubleday, Doran and Company, Inc., 1932).

4. Burke E. Zimmerman, "Human Germ-Line Therapy: The Case for its Development and Use," *Journal of Medicine and Philosophy*, December 1991, 594.

5. "Whether to Make Perfect Humans," *New York Times*, July 22, 1982, A22.

6. Jon Beckwith, "A Historical View of Social Responsibility in Genetics," *BioScience*, May 1993, 330.

الفصل الثالث

1. This chapter refers mainly to Arabic-speaking countries in the Middle East although some data and comparisons also include Islamic states from North Africa, Europe and Asia.

2. Bernard Lewis, *What Went Wrong? Western Impact and Middle Eastern Response* (Oxford: Oxford University Press, 2002) 3, 6.

3. Jared Diamond, Germs, *Guns, and Steel: The Fates of Human Societies* (New York, NY: W.W. Norton), 267.

4. Juan Enriquez, "Too Many Flags?" *Foreign Policy* (Fall, 1999).

5. Recent advances in genomics allow each of us to trace back our ancestry to a very few individuals in Europe and even fewer, earlier, individuals in Africa. See for example, Bryan Sykes, *Seven Daughters of Eve* (New York, NY: W.W. Norton, 2001) or Richard Dawkins, *A River Out of Eden* (London: Basic Books, reprint edition, 1996).

6. Steve Olson, *Mapping Human History: Discovering Our Past Through Our Genes* (New York, NY: Houghton Mifflin, 2002).

7. Angus Maddison, *The World Economy* (Paris: OECD, 2001).

8. Ibid., 46.

9. Jared Diamond, *Germs, Guns, and Steel*, 141.

10. Figure 3.3, "Worldwide Oil Production (1000 b/d)," is taken from *International Petroleum Encyclopedia*, 2002, 211-215. Figure 3.4, "Oil Production as a Percentage of World Gross Production," is taken from World Bank, *World Development Indicators, 2002* (CD ROM). *International Petroleum Encyclopedia, 2002, Basic Petroleum Data Book, Petroleum Industry Statistics*, vol. XXII, no. 2, August 2002. The price used for this calculation was the annual average wellhead price of united crude oil.

11. Nicholas Negroponte, *Being Digital* (New York, NY: Vintage Books, 1996).

12. Varian Hal and Peter Lyman, *How Much Information? December 2000* (http://www.press.umich.edu/jep/06-02/lyman.html).

13. World Bank, *World Development Indicators 2002* (CD ROM).

14. Bruce R. Scott and George C. Lodge (eds), *US Competitiveness in the World Economy* (Boston: Harvard Business School Press, 1985).

15. James Watson and Francis Crick, "A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid," *Nature* Vol. 171, April 25, 1953.

16. Juan Enriquez and Rodrigo Martinez, *The Biotechonomy (1.0): A Rough Map of Biodata Information Flow*, Harvard Business School Working Paper (Winter 2002) 03-028.

17. See www.nexia.com.

18. See www.google.com.

19. Genetics Advisory Council Meetings, HMS, 2002.

20. Enriquez and Martinez, *The Biotechonomy*.

21. See http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Genbank/GenbankOverview.html or http://www.ebi.ac.uk/embl/ or http://www.ddbj.nig.ac.jp.

22. Otto Solbrig, Robert Paarlberg and Francesco Di Castri, *Globalization and the Rural Environment* (Cambridge, MA: Harvard University Press, 2001).

23. Juan Enriquez and Ray Goldberg, "Transforming Life, Transforming Business: The Life Science Revolution," *Harvard Business Review* (April/May 2000).

24. Keith Bradsher, "Vietnam Becomes a Safe Haven for Tourists," *The New York Times*, International section, January 5, 2003.

25. Dick Teresi, *Lost Discoveries: Ancient Roots of Modern Science from the Babylonians to the Maya* (New York, NY: Simon & Schuster, 2002). Seyyed Hossein Nasr, *Islamic Science: An Illustrated Study* (World of Islam Festival Publishing Co, 1976). UNESCO International Exhibition on Islamic Science and Technology (www.unesco.org/pao/exhib/islam.htm). Malaysia's Science Center, in Kuala Lumpur, also hosted a show on Islamic science during 2002.

26. One of the great early treatises on surgery in Europe, comprising four titles in one volume is *Cyrurgia parva Guidonis. Cyrurgia Albucasis cum cauteriis et aliis instrumentis. Tratatus de oculis Jesui Hali. Tratatus de oculis Canamusali.* Authored by Guy de Chauliac (circa 1300-1368), and published in Venice, 1500, this work is based on the work of 10th and 11th century Islamic physicians and surgeons such as Abu'l Qasim Al-Zahrawi and Ali Ibn-Isa Al Kahhal.

27. See http://www.nlm.nih.gov/

28. Jared Diamond, *Germs, Guns, and Steel: The Fates of Human Societies* (New York, NY: W.W. Norton), 247.

29. See Lewis, op. cit.

30. See Nabil Matar (ed. and trans.) *In the Lands of the Christians: Arabic Travel Writing in the Seventeenth Century* (New York, NY: Routledge, 2003).

31. *Oxford Encyclopedia of the Modern Islamic World* Vol. 4 (New York, NY: Oxford University Press, 1995), 15.

32. Angus Maddison, *Monitoring the World Economy 1820-1992* (Paris: OECD, 2000), 19.

33. The World Bank, *2002 Development Indicators*, Table 6.5.

34. The World Bank, *2002 Development Indicators*, Table 2.5.

35. The World Bank, *2002 Development Indicators*, Table 2.13.

36. Bruce R. Scott, "The Great Divide in the Global Village," *Foreign Affairs* 80, no.1 (January 2001): 160-177.

37. Based on data from Angus Maddison, *Monitoring the World Economy 1820-1992* (Paris: OECD, 2000) Tables F-4, D-1b, C16.

38. The World Bank, *2002 Development Indicators*, Table 5.11.

39. Reproduced in Niels Bohr, *Atomic Physics and Human Knowledge* (New York, NY: John Wiley & Sons, 1958).

40. Erwin Schrödinger, *What is Life? The Physical Aspect of the Living Cell* (Cambridge, Cambridge University Press, 1948).

41. See http://www.bu.edu/remotesensing/Faculty/El-Baz/FEBcv.htm

42. There are many debates as to why it is hard to attract and retain scholars in the area. For one example of this debate see Dr. Shafeeq N. Ghabra, Director of Strategic and Future Studies, Kuwait University. (http://www.inthenationalinterest.com/Articles/Vol2Issue1/Vol2Issue1 Ghabra.html)

43. Islamic countries included for comparison are Algeria, Bangladesh, Benin, Burkina Faso, Cameroon, Chad, Ivory Coast, Egypt, Gabon, Gambia, Guinea-Bissau, Guyana, Indonesia, Iran, Jordan, Kuwait, Libya, Malaysia, Mali, Mauritania, Morocco, Niger, Nigeria, Oman, Pakistan, Qatar, Saudi Arabia, Senegal, Sierra Leone, Sudan, Suriname, Syria, Togo, Tunisia, Turkey, Uganda and United Arab Emirates.

44. Quoted in *Islamic Science: An Illustrated Study*, page 8.

الفصـل الرابـع

1. Maureen Dowd, "From Botox to Botulism," *New York Times*, Opinion-Editorial, September 25, 2001.

2. J.L. Resnick, L.S. Bixler, L. Cheng and P.J. Donovan, "Long-term Proliferation of Mouse Primordial Germ Cells in Culture." *Nature* 359 (1992): 550-551; See also Y. Matsui, K. Zsebo and B.L. Hogan, "Derivation of Pluripotential Embryonic Stem Cells from Murine Primordial Germ Cells in Culture," *Cell* 70 (1992): 841-847.

3. Michael J. Shamblott, Joyce Axelman, Shunping Wang, Elizabeth M. Bugg, John W. Littlefield, Peter J. Donovan, Paul D. Blumenthal, George R. Huggins and John D. Gearhart, "Derivation of Pluripotent Stem Cells from Cultured Human Primordial Germ Cells," *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 95 (1998): 13726-13731.

4. POU (Pit-Oct-Unc) is an acronym for a family of protein factors that bind DNA and permit the DNA to be transcribed into RNA. Pit-Oct-Unc were the first three members of the family to be identified. Oct4 or Oct3/4 is a member of the POU family of transcription factors. It is short for Octamer-4 protein (or factor), which is the fourth member of the Oct group - a group of proteins that bind eight bases of DNA.

5. H. Spemann (1943) "Forschung und Leben" (Research and Life), as quoted in T.J. Horder, J.A. Witkowski and C.C. Wylie, *A History of Embryology* (Cambridge: Cambridge University Press, 1986), 219.

6. J.W. McDonald, X.Z. Liu, Y. Qu, S. Liu, S.K. Mickey, D. Turetsky, D.I. Gottlieb and D.W. Choi, "Transplanted Embryonic Stem Cells Survive, Differentiate and Promote Recovery in Injured Rat Spinal Cord," *Nature Medicine* 5 (1999): 1410-1412.

7. Lars M. Björklund, Rosario Sánchez-Pernaute, Sangmi Chung, Therese Andersson, Iris Yin Ching Chen, Kevin St. P. McNaught, Anna-Liisa Brownell, Bruce G. Jenkins, Claes Wahlestedt, Kwang-Soo Kim and Ole Isacson, "Embryonic Stem Cells Develop into Functional Dopaminergic Neurons after Transplantation in a Parkinson Rat Model," *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 99 (2002): 2344-2349; Jong-Hoon Kim, Jonathan M. Auerbach, José A.

Rodríquez-Gómez, Iván Velasco, Denise Gavin, Nadya Lumelsky, Sang-Hun Lee, John Nguyen, Rosario Sánchez-Pernaute, Krys Bankiewicz and Ron McKay, "Dopamine Neurons Derived from Embryonic Stem Cells Function in an Animal Model of Parkinson's Disease," *Nature* 418 (2002): 50-56.

8. William M. Rideout III, Konrad Hochedlinger, Michael Kyba, George Q. Daley and Rudolf Jaenisch, "Correction of a Genetic Defect by Nuclear Transplantation and Combined Cell and Gene Therapy," *Cell* 109 (2002): 17-27.

9. B. Sorio, E. Roche, G. Berna, T. Leon-Quinto, J.A. Reig, F. Martin, "Insulin-secreting Cells Derived from Embryonic Stem Cells Normalize Glycemia in Streptozotocin-Induced Diabetic Mice," *Diabetes* 49 (2001): 157-162; Nadya Lumelsky, Olivier Blondel, Pascal Laeng, Ivan Velasco, Rea Ravin and Ron McKay, "Differentiation of Embryonic Stem Cells to Insulin-Secreting Structures Similar to Pancreatic Islets," *Science* 292 (2001): 1389-1394.

10. R.B. Cervantes, J.R. Stringer, C. Shao, J.A. Tischfield and P.J. Stambrook, "Embryonic Stem Cells and Somatic Cells Differ in Mutation Frequency and Type." *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 99 (2002): 3586-3590.

11. Paul Berg, Nobel Laureate, US Senate Testimony, March 19, 2003.

12. From a speech delivered by British Prime Minister Benjamin Disraeli on July 24, 1877. See *Bartlett's Familiar Quotations*.

الفصل الخامس

1. James A. Thomson, Joseph Iskovitz-Eldor, Sander S. Shapiro, Michelle A. Waknitz, Jennifer J. Swiergiel, Vivienne S. Marshall and Jeffrey M. Jones, "Embryonic Stem Cell Lines Derived From Human Blastocysts," *Science* 282 (1998): 1145-1147; J. Gearhart, "New Potential for Human Embryonic Stem Cells," *Science* 282 (1998): 1061-1062.

2. P.R. Wolpe and G. McGee, "'Expert Bioethics' as Professional Discourse: The Case of Stem Cells," in S. Holland, K. Lebacqz and L.

Zoloth (eds) *The Human Embryonic Stem Cell Debate* (Cambridge, MA: MIT Press, 2001), 204-242.

3. M. Farley, "Roman Catholic Views on Research Involving Human Embryonic Stem Cells," in S. Holland, et al., 113-119.

4. T.B. Okarma, "Human Embryonic Stem Cells: A Primer on the Technology and its Medical Applications," in S. Holland, et al., 3-14.

5. Ibid.

6. Ibid.

7. A.R. Chapman, M.S. Frankel and M.S. Garfinkel, "Stem Cell Research and Applications: Monitoring the Frontiers of Biomedical Research, *AAAS/ICS Report*, 1999.

8. National Bioethics Advisory Commission, *Ethical Issues in Human Stem Cell Research* (US Government Printing Press, 1999).

9. It was suggested that totipotent cells might be removed from 4- or 8-cell pre-implantation embryos destined for in vitro fertilization (without destroying the embryo, a technology performed with some frequency in contemporary reproductive therapeutic settings for purposes of pre-implantation genetic diagnosis); see J.W. McDonald, X.Z. Liu, Y. Qu, S. Liu, S.K. Mickey, D. Turetsky, and D.I. Gott, "Transplanted Embryonic Stem Cells Survive, Differentiate, and Promote Recovery in Injured Rat Spinal Cord." *Nature Medicine* 5 (1999): 1410-1412. It was also suggested that scientists who conduct embryonic cell research ought not themselves to be engaged in the destruction of embryos, or, perhaps more correctly, that the activity of embryonic cell research could or should be viewed as morally distinct from that of obtaining cells through the destruction of embryos. See National Bioethics Advisory Commission, Ibid.

10. President G.W. Bush, "Address to the Nation on Stem Cell Research," Vanderbilt Television News Archives, August 2001.

11. Friend, T. "Half of Stem Cell Money Could Go to Royalties," *USA Today* August 13, 2001, A1.

الفصل الثامن

1. See Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). "Industrial Sustainability and the Role of Biotechnology," in *Biotechnology for Clean Industrial Products and Processes - Towards Industrial Sustainability* (Paris: OECD, 1998), 15-27.

2. National Research Council (NRC), "Range of Bio-Based Products," in *Bio-Based Industrial Products - Priorities for Research and Commercialization* (Washington, DC: National Academy Press, 2000) 55-73.

3. National Research Council (NRC), "Processing Technologies," in *Bio-Based Industrial Products*, op. cit., 74-102.

4. O. Kirk, T.V. Borchert and C.C. Fuglsang, "Industrial Enzyme Applications," *Current Opinion in Biotechnology* vol. 13 (2002): 345-351.

5. Ibid.

6. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). "Enzymatic Production of Acrylamide (Mitsubishi Rayon, Japan)," in *The Application of Biotechnology to Industrial Sustainability - Sustainable Development* (Paris: OECD, 2001), 71-76.

7. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), "Manufacture of Riboflavin (Vitamin B2) (Hoffmann, La-Roche, Germany)," in *The Application of Biotechnology*, op. cit., 51-55.

8. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), "Polymers from Renewable Resources (Cargill Dow, United States)," in *The Application of Biotechnology*, op. cit., 87-90.

9. National Renewable Energy Laboratory (NREL), "Bioethanol - Moving into the Marketplace," in *Biofuels for Sustainable Transportation* (Washington, DC: NREL. 2001).

10. See www.jxj.com.

11. S. R. Fahnestock, "Fibrous Proteins from Recombinant Microorganisms," in *Biopolymers* vol. 8, S. Fahnestock and A. Steinbuches (eds), *Polyamides and Complex Proteinaceous Materials* (Weinheim, Germany: Wiley-VCH, 2003).

12. C. Viney, A.E. Huber, D.L. Dunaway, K. Kerkam and S.T. Case, "Optical Characterization of Silk Secretions and Fibers," in D. Kaplan, W.W. Adama, B. Farmer and C. Viney (eds) "Silk Polymers," *ACS Symposium Series*, vol. 544, American Chemical Society, Washington, DC (1994): 120-136. Also F. Vollrath and D.P. Knight, "Liquid Crystalline Spinning of Spider Silk," *Nature* vol. 410 (2001): 541-548. See also P.J. Willcox, S.P. Gido, W. Muller and D.L. Kaplan. "Evidence of a Cholesteric Liquid Crystalline Phase in Natural Silk Spinning Processes." *Macromolecule*, vol. 29 (1996): 5106-5110.

13. Baeuerlein, E., *Biomineralization: From Biology to Biotechnology and Medical Applications* (New York, NY: VCH, 2001).

14. A.M. Belcher, X.C. Wu, R.J. Christensen, P.K. Hansma, G.D. Stucky and D.E. Morse, "Fidelity of CaCO3 Crystal Phase-Switching and Orientation Controlled by Shell Proteins," *Nature* vol. 381 (1996): 56-58. Also A.M. Belcher, P.K. Hansma, G.D. Stucky and D.E. Morse, "First Steps in Harnessing the Potential of Biomineralization as a Route to New High-Performance Composite Materials," *Acta Materialia* vol. 46, no. 3 (1998): 733-736. See also S. Fields, "The Interplay of Biology and Technology," *Proceedings of the National Academy of Sciences* vol. 98 (2001): 10051-10054; M. Fritz and D.E. Morse. "The Formation of Highly Organized Biogenic Polymer/ Ceramic Composite Materials: The High-Performance Microlaminate of Molluscan Nacre," *Current Opinion in Colloid and Interface Science* vol. 3, no. 1 (1998): 55-62; M. Fritz, A.M. Belcher, M. Radmacher, D.A. Walters, P.K. Hansma, G.D. Stucky, D.E. Morse and S. Mann, "Flat Pearl from Biofabrication of Organized Composites on Inorganic Substrates," *Nature* 371 (1994): 49-51; M.F. Weber, C.A. Stover, L.R. Gilbert, T.J. Nevitt and A.J. Ouderkirk, "Giant Birefringent Optics in Multilayer Polymer Mirrors," *Science* 287 (2001): 2451-2456.

15. See Belcher et al., 1996, op. cit.

16. See Belcher et al., 1998, op. cit.

17. K. Shimizu, J. Cha, G.D. Stucky and D.E. Morse, "Silicatein α: Cathepsin L-like Protein in Sponge Biosilica," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Washington, DC, vol. 95, no. 11 (1998): 6234-6238.

18. See S. Fields, 2001, op. cit.

19. See M.F. Weber et al., 2001, op. cit.

20. P. Forrer, S. Jung and A. Pluckthun, "Beyond Binding: Using Phage Display to Select for Structure, Folding and Enzymatic Activity in Proteins," *Current Opinion in Structural Biology* vol. 9, no. 4 (1999): 514-20; also R.W. Roberts and W.W. Ja, "In Vitro Selection of Nucleic Acids and Proteins: What are we Learning?" *Current Opinion in Structural Biology* vol. 9, no. 4 (1999): 521-529.

21. S.R. Whaley, D.S. English, E.L. Hu, P.F. Barbara and A.M. Belcher, "Selection of Peptides with Semiconductor Binding Specificity for Directed Nanocrystal Assembly," *Nature* vol. 405, no. 6787 (2000): 665-668.

الفصل التاسع

1. Dr Gordon Conway, President of the Rockefeller Foundation, as quoted in *The Scientist*, vol. 14, no. 21, October 30, 2000, 10.

2. The two arms of the United Nations - The Food and Agriculture Organization (FAO) and the World Health Organization (WHO) agreed to jointly sponsor a Codex Alimentarius (Latin for "food code") to improve food quality and safety around the world. The FAO/WHO formally established the Codex Alimentarius Commission in 1962 in Rome to oversee the effort. The Codex Commission is an international body, with membership that is open to any member or associate of the FAO or WHO. The Commission has 167 members representing 98 percent of the world's population. It meets every two years and reports directly to the Directors-General of the FAO and WHO.

3. See report issued on January 14, 2003 by the International Service for the Acquisition of Agribiotech Applications (ISAAA).

4. The Global Conservation Trust has been created by a partnership between the United Nations Food and Agriculture Organization (FAO) and the sixteen Future Harvest Centers of the Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR). The goal of the Global Conservation Trust is to support conservation of crop diversity in the long term.

الفصل العاشر

1. G. Stock, *Redesigning Humans: Our Inevitable Genetic Future* (Boston, MA: Houghton Mifflin, 2002), 41.

2. The broad consequences of this were discussed at the landmark symposium that I moderated at UCLA in January 2003. "The Storefront Genome" was organized by the Center for Society, the Individual and Genetics (http://www.arc2.ucla.edu/csig/symp1.htm).

3. See for example http://www.aber.ac.uk/~mpgwww/Metabol/Metabol.html.

4. W. Grody, "Cystic Fibrosis: Molecular Diagnosis, Population Screening, and Public Policy," *Archives of Pathology and Laboratory Medicine* 123 (1999): 1041-1046.

5. G. Kolata, "Pushing Limits of the Human Lifespan," *New York Times*, March 9, 1999, page D1.

6. See, for example, http://thomas.loc.gov/cgi-bin/query/z?c108:S.245: this is the Brownback Bill introduced in the United States Senate in early 2003.

7. G. Steen, *DNA and Destiny: Nature and Nurture in Human Behavior* (New York, NY: Plenum, 1996), 113-135.

8. D. Macer et al., "International Perceptions and Approval of Gene Therapy," *Human Gene Therapy* 6 (1995): 791-803.

9. G. Stock, *Redesigning Humans*, Chapter 4.

الفصل الحادي عشر

1. A "blockbuster" drug is one that generates over US$1 billion per year in peak revenues.

2. In this chapter, the trade name of a drug is used if it has one, and the generic name is given in parentheses.

3. A. Michaels, "Pfizer R&D Unable to Sustain Group Growth Rate," *Financial Times*, September 12, 2001, 30.

4. On January 28, 2003 at the World Economic Forum in Davos, Switzerland, Pfizer CEO Henry McKinnell stated that Pfizer expects, following the expected closure of its merger with Pharmacia, to generate the new drugs it needs over the next five years from its own internal pipeline and from partnerships (Michael Shields, Reuters, January 28, 2003).

5. The FDA defines a "new molecular entity" (NME) as a medication containing an active substance that has never before been approved for marketing in any form in the United States.

6. B.M. Bolten and T. DeGregorio, "Trends in Development Cycles," *Nature Reviews Drug Discovery* vol. 1 (2002): 335-336.

7. However, Lilly had two drug approvals in the US and one in Europe late in 2002, despite continuing manufacturing quality concerns.

8. The same month, Schering-Plough received FDA approval to begin selling Claritin over the counter, rather than by prescription, in the United States.

9. The two companies are continuing to develop the drug, and working with the FDA to ensure an optimal clinical development program.

10. Tufts Center for the Study of Drug Development, press release, November 30, 2001 (http://csdd.tufts.edu/).

11. Until September 2002, two separate divisions of the FDA reviewed small-molecule drugs and biopharmaceuticals (mainly protein drugs made via recombinant DNA and/or monoclonal antibody technologies).

Review of both types of drugs was placed under one division, the Center for Drug Evaluation and Research, in September 2002. The biotechnology industry expects that this reorganization will further speed the approval process for biopharmaceuticals.

12. K.I. Kaitin and E.M. Healy, "The New Drug Approvals of 1996, 1997 and 1998: Drug Development Trends in the User Fee Era," *Drug Information Journal* vol. 34 (2000): 1-14.

13. For example, as Roche has done with Genentech.

14. As in the case of Johnson & Johnson with Centocor, and Wyeth with the former Genetics Institute.

15. J. Drews, "Drug Discovery: A Historical Perspective," *Science* vol. 287 (2000): 1960-1964.

16. Ibid.

17. One example of recombinant human insulin is Lilly's Humulin. Human growth hormone is manufactured by Genentech, Novo Nordisk, Lilly and Pharmacia. Examples of factor VIII are Bayer's Kogenate and Wyeth's ReFacto.

18. Examples of recombinant erythropoietin include Amgen's Epogen, for treatment of anemia in chronic renal failure patients on dialysis. Interferon products for the treatment of multiple sclerosis include Berlex's betaseron (interferon beta-1b) and Biogen's Avonex (interferon beta-1a).

19. For an excellent glossary of technical terms used in genomics and other advanced drug discovery technology (including those used in this chapter) see the online Genomics Glossary hosted by Cambridge Healthtech Institute (http://www.genomicglossaries.com/).

20. In June 2003, Biogen announced that is was merging with Idec to form Biogen Idec Inc., which will be headquartered in Cambridge, Massachusetts. The two companies expect the merger to be completed in the second or third quarter of 2003.

21. There are many more biotechnology companies than those listed in Tables 11.2 and 11.3. The selection of companies for these tables is somewhat arbitrary, and is meant to provide examples of the types of existing companies.

22. K.I. Kaitin, "Pharmaceutical Industry Innovation is More Dispersed Despite M&A Activity," *Tufts Center for the Study of Drug Development Impact Report* vol. 2, no. 5 (June 2000).

23. J.K. Borchardt, "The Business of Pharmacogenomics," *Modern Drug Discovery* vol. 4 (2001): 35-39.

24. However, Myriad markets several genomics-based diagnostic tests, and all three companies have several genomics-derived drugs in preclinical studies.

25. A.B. Haberman, D. Lockwood and M.A. Branca, *Target Identification and Validation: Key Approaches for Improving the Efficiency and Profitability of Drug Discovery and Development*, CHI Reports, Cambridge Healthtech Institute, June 30, 2001. See also A.B. Haberman, *Biochemical Pathway and System Analysis for Target Identification and Validation*, CHI Reports, Cambridge Healthtech Institute, April 24, 2002.

26. Gleevec is imatinib mesylate, also known as STI 571. It is known as Glivec in countries other than the US.

27. A kinase is an enzyme that transfers phosphate groups to other molecules. Kinases that phosphorylate certain proteins are key molecules in signal transduction pathways. Bcr-Abl is an abnormal form of such a signaling kinase.

28. See Haberman, 2002, op. cit. Bcr-Abl and FLT3 are signaling molecules as well, and thus the drugs that target these kinases, as discussed above, also target signal transduction pathways.

29. See Biogen's press release of January 9, 2001 (http://www.biogen.com).

30. In September 2003, Dr. Julian Adams left Millennium to become Chief Scientific Officer at Infinity Pharmaceuticals.

31. For a full discussion of these issues, see A.B. Haberman, G.R. Lenz and D.E. Vaccaro, *From Data to Drugs: Strategies for Benefiting from New Drug Discovery Technologies*, Scrip Reports, Morpace Pharma Group and PJB Publications Ltd, July 1999.

32. S. Warner, "Science in Small Hubs," *The Scientist* vol. 16, no. 7 (April 1, 2002): 54.

33. N. Aoki, "Off the Academic Path," *Boston Globe*, May 12, 2002.

المراجع

ABC News. "First Gene Therapy for Alzheimer's." April 11, 2001. (abcnews.go.com/sections/living/DailyNews/alzheimersgenetherapy 010411.html).

ABC News. "A Better Breed of Fish? FDA Petitioned to Halt Release of Bio-engineered Salmon," May 11, 2001.

Amar, Zohar. *The History of Medicine in Jerusalem* (Oxford: Archaeopress, 2002).

Aoki, N. "Off the Academic Path." *Boston Globe*, May 12, 2002.

Baeuerlein, E. *Biomineralization: From Biology to Biotechnology and Medical Applications* (New York, NY: VCH, 2001).

Balázs, E., E. Galante, J.M. Lynch et al. (eds). *Biological Resource Management: Connecting Science and Policy* (Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2000).

Beckwith, Jon. "A Historical View of Social Responsibility in Genetics," *BioScience*, May 1993.

Belcher, A.M., P.K. Hansma, G.D. Stucky and D.E. Morse. "First Steps in Harnessing the Potential of Biomineralization as a Route to New High-Performance Composite Materials." *Acta Materialia* vol. 46, no. 3 (1998): 733-736.

Belcher, A.M., X.C. Wu, R.J. Christensen, P.K. Hansma, G.D. Stucky and D.E. Morse. "Fidelity of $CaCO_3$ Crystal Phase-Switching and Orientation Controlled by Shell Proteins." *Nature* vol. 381 (1996): 56-58.

Biogen press release, January 9, 2001 (http://www.biogen.com).

Björklund, Lars M. et al. "Embryonic Stem Cells Develop into Functional Dopaminergic Neurons after Transplantation in a Parkinson Rat Model." *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA 99* (2002): 2344-2349.

Bloom, Jonathan M. *Paper Before Print: The History and Impact of Paper in the Islamic World* (New Haven, CT: Yale University, 2001).

Bohr, Niels. *Atomic Physics and Human Knowledge* (New York, NY: John Wiley & Sons, 1958).

Bolten, B.M. and T. DeGregorio. "Trends in Development Cycles." *Nature Reviews Drug Discovery* vol. 1 (2002): 335-336.

Borchardt, J.K. "The Business of Pharmacogenomics," *Modern Drug Discovery* vol. 4 (2001): 35-39.

Bradsher, Keith. "Vietnam Becomes a Safe Haven for Tourists." *The New York Times*, International section, January 5, 2003.

Buckingham, J.S. "Damascus: A Center of Learning in the Medieval Islamic World," in *Travels Among the Arab Tribes Inhabiting the Countries East of Syria and Palestine* (London: Longman, Hurst, Rees, Orme, Brown and Green, 1825).

Bush, President G.W. "Address to the Nation on Stem Cell Research." Vanderbilt Television News Archives, August 2001.

Buzurg, Ibn Shahriyar, "Men of Science," in *Kitab 'ajayibal-Hind* (Leiden, Netherlands: Brill, 1886).

Cambridge Encyclopedia of the Middle East and North Africa (Cambridge: Cambridge University Press, 1988).

CBS News, April 17, 2002. "New Cure for Bubble Boy Disease" (www.cbs.com).

CDC Fact Sheets on Biologic and Nuclear Terrorism, as of November 15, 2002 (www.cdc.gov).

Cervantes, R.B., J.R. Stringer, C. Shao, J.A. Tischfield and P.J. Stambrook. "Embryonic Stem Cells and Somatic Cells Differ in Mutation Frequency and Type." *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA 99* (2002): 3586-3590.

Chapman, A.R., M.S. Frankel and M.S. Garfinkel. "Stem Cell Research and Applications: Monitoring the Frontiers of Biomedical Research." *AAAS/ICS Report*, 1999.

Chemical Casualty Care Division, *Medical Management of Chemical Casualties Handbook*, third edition (USAMRICD, Aberdeen Proving Ground, Maryland, July 2000).

Davis, S. and Bill Davidson. *2020 Vision: Transform Your Business Today to Succeed in Tomorrow's Economy* (New York, NY: Fireside, 1991).

Dawkins, Richard. *A River Out of Eden* (London: Basic Books, reprint edition, 1996).

Diamond, Jared. *Germs, Guns, and Steel: The Fates of Human Societies* (New York, NY: W.W. Norton 1997).

Discovery Channel. "Raising the Mammoth" 2000 (www.discovery.com).

Dowd, Maureen. "From Botox to Botulism." *New York Times*, Opinion-Editorial (September 25, 2001).

Drews, J. "Drug Discovery: A Historical Perspective." *Science* vol. 287 (2000): 1960-1964.

Enriquez, Juan. "Too Many Flags." *Foreign Policy* (Fall, 1999).

Enriquez, Juan and Ray Goldberg. "Transforming Life, Transforming Business: The Life Science Revolution." *Harvard Business Review* (April/May 2000).

Enriquez, Juan and Rodrigo Martinez. *The Biotechonomy (1.0): A Rough Map of Biodata Information Flow.* Harvard Business School Working Paper (Winter 2002).

Evans, M.J. and M.H. Kaufman. "Establishment in Culture of Pluripotential Cells from Mouse Embryos." *Nature* 292 (1981): 154-156.

Fahnestock, S.R. "Fibrous Proteins from Recombinant Microorganisms." in *Biopolymers* vol. 8, S. Fahnestock and A. Steinbuches (eds). *Polyamides and Complex Proteinaceous Materials* (Weinheim, Germany: Wiley-VCH, 2003).

Farley, M. "Roman Catholic Views on Research Involving Human Embryonic Stem Cells." in S. Holland, K. Lebacqz and L. Zoloth (eds). *The Human Embryonic Stem Cell Debate* (Cambridge, MA: MIT Press, 2001), 113-119.

Fields, S. "The Interplay of Biology and Technology." *Proceedings of the National Academy of Sciences* vol. 98 (2001): 10051-10054.

Forrer, P., S. Jung and A. Pluckthun. "Beyond Binding: Using Phage Display to Select for Structure, Folding and Enzymatic Activity in Proteins." *Current Opinion in Structural Biology* vol. 9, no. 4 (1999): 514-20.

Friend, T. "Half of Stem Cell Money Could Go to Royalties." *USA Today* August 13, 2001, A1.

Fritz, M., A.M. Belcher, M. Radmacher, D.A. Walters, P.K. Hansma, G.D. Stucky, D.E. Morse and S. Mann. "Flat Pearl from Biofabrication of Organized Composites on Inorganic Substrates." *Nature* vol. 371 (1994): 49-51.

Fritz, M. and D.E. Morse. "The Formation of Highly Organized Biogenic Polymer/Ceramic Composite Materials: The High-performance Microlaminate of Molluscan Nacre." *Current Opinion in Colloid and Interface Science* vol. 3, no. 1 (1998): 55-62.

Gearhart, J. "New Potential for Human Embryonic Stem Cells." *Science* 282 (1998): 1061-1062.

Grody, W. "Cystic Fibrosis: Molecular Diagnosis, Population Screening and Public Policy." *Archives of Pathology and Laboratory Medicine* 123 (1999).

Haberman, A.B. *Biochemical Pathway and System Analysis for Target Identification and Validation*. CHI Reports, Cambridge Healthtech Institute, April 24, 2002.

Haberman, A.B., G.R. Lenz and D.E. Vaccaro. *From Data to Drugs: Strategies for Benefiting from New Drug Discovery Technologies*. Scrip Reports, Morpace Pharma Group and PJB Publications Ltd, July 1999.

Haberman, A.B., D. Lockwood and M.A. Branca. *Target Identification and Validation: Key Approaches for Improving the Efficiency and Profitability of Drug Discovery and Development*. CHI Reports, Cambridge Healthtech Institute, June 30, 2001.

Hal, Varian and Peter Lyman. *How Much Information?* December 2000 (http://www.sims.berkeley.edu/research/projects/how-much-info/).

Harvard University and the Nuclear Threat Initiative. *Securing Nuclear Weapons and Materials: Seven Steps for Immediate Action* (Washington, DC, 2002).

Hayflick, Leonard. *How and Why We Age* (New York, NY: Ballantine Books, 1994).

Hodgson, Marshall G.S. *The Venture of Islam*, vol. 2 (Chicago, IL: University of Chicago Press, 1974).

Huxley, Aldous. *Brave New World* (Garden City, NY: Doubleday, Doran and Company, Inc., 1932).

Institute for Genomic Research. "Scientists Decipher the Genetic Code of Malaria." Rockville, Maryland, October 2, 2002 (TIGR.org).

International Petroleum Encyclopedia, 2002. *Basic Petroleum Data Book*, Petroleum Industry Statistics, vol. XXII, no. 2, August 2002.

International Service for the Acquisition of Agribiotech Applications (ISAAA) Report, January 14, 2003.

Islamic Medical Manuscripts at the National Library of Medicine, Washington, DC. (http://www.nlm.nih.gov/hmd/arabic/arabichome. html).

Kaitin, K.I. "Pharmaceutical Industry Innovation is More Dispersed Despite M&A Activity." *Tufts Center for the Study of Drug Development Impact Report* vol. 2, no. 5 (June 2000).

Kaitin, K.I. and E.M. Healy. "The New Drug Approvals of 1996, 1997 and 1998: Drug Development Trends in the User Fee Era." *Drug Information Journal* vol. 34 (2000): 1-14.

Kaku, Michio. *Visions: How Science will Revolutionize the 21st Century* (New York, NY: Anchor Books, 1997).

Kim, Jong-Hoon et al. "Dopamine Neurons Derived from Embryonic Stem Cells Function in an Animal Model of Parkinson's Disease." *Nature* 418 (2002): 50-56.

Kirk, O., T.V. Borchert and C.C. Fuglsang. "Industrial Enzyme Applications." *Current Opinion in Biotechnology* vol. 13, no. 4 (2002): 345-351.

Kolata, G. "Pushing Limits of the Human Lifespan." *New York Times*, March 9, 1999, page D1.

Layne, Scott P., Tony J. Beugelsdijk and C. Kumar N. Patel (eds). *Firepower in the Lab: Automation in the Fight Against Infectious Diseases and Bioterrorism* (Washington, DC: Joseph Henry Press, 2001).

Lederberg, Joshua (ed.). *Biological Weapons: Limiting the Threat* (Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard University, MIT Press, 1999).

Lewis, Bernard. *What Went Wrong? Western Impact and Middle Eastern Response* (Oxford: Oxford University Press, 2002).

Lumelsky, Nadya et al. "Differentiation of Embryonic Stem Cells to Insulin-Secreting Structures Similar to Pancreatic Islets." *Science* 292 (2001): 1389-1394.

Macer, D. et al. "International Perceptions and Approval of Gene Therapy." *Human Gene Therapy* 6 (1995).

Maddison, Angus. *Monitoring the World Economy 1820-1992* (Paris: OECD, 2000).

Maddison, Angus. *The World Economy* (Paris: OECD, 2001).

Manne, S., C.M. Zaremba, R. Giles, L. Huggins, D.A. Walters, A. Belcher, D.E. Morse, G.D. Stucky, J.M. Didymus, S. Mann and P.K. Hansma. "Atomic Force Microscopy of the Nacreous Layer in Mollusc Shells." *Proceedings of the Royal Society of London* vol. 256, no. 1345 (1994): 17-23.

Marshak, D.R., R.L. Gardner and D. Gottleib (eds). *Stem Cell Biology*. Cold Spring Harbor Monograph Series 40 (New York, NY: Cold Spring Harbor Laboratory Press, 2000).

Martin, G.R. "Isolation of a Pluripotent Cell Line From Early Mouse Embryos Cultured in Media Conditioned by Teratocarcinoma Stem Cells." *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA 78* (1981): 7634-7638.

Matsui, Y., K. Zsebo and B.L. Hogan. "Derivation of Pluripotential Embryonic Stem Cells from Murine Primordial Germ Cells in Culture." *Cell 70* (1992): 841-847.

McDonald, J.W. et al. "Transplanted Embryonic Stem Cells Survive, Differentiate, and Promote Recovery in Injured Rat Spinal Cord." *Nature Medicine* 5 (1999): 1410-1412.

"Medical Images," National Library of Medicine collection, Washington, DC.

Michaels, A. "Pfizer R&D Unable to Sustain Group Growth Rate." *Financial Times*, September 12, 2001, 30.

Military Medical Operations Office, *Medical Management of Radiological Casualties Handbook* (Armed Forces Radiobiology Research Institute, Bethesda, Maryland, December 1999).

MIT News. "Technique Could Improve Cartilage Repair," July 18, 2002 (Thomson@mit.edu).

Nasr, Seyyed Hossein. *Islamic Science: An Illustrated Study* (World of Islam Festival Publishing Co., 1976).

National Bioethics Advisory Commission. *Ethical Issues in Human Stem Cell Research* (US Government Printing Press, 1999).

National Renewable Energy Laboratory (NREL). "Bioethanol - Moving into the Marketplace," in *Biofuels for Sustainable Transportation* (Washington, DC: NREL. 2001).

National Research Council (NRC). "Processing Technologies," in *Bio-based Industrial Products - Priorities for Research and Commercialization* (Washington, DC: National Academy Press, 2000), 74-102.

National Research Council (NRC). "Range of Bio-based Products," in *Bio-based Industrial Products - Priorities for Research and Commercialization* (Washington, DC: National Academy Press, 2000), 55-73.

Nature Genetics, January 1999.

"Nature Insight: Stem Cells." *Nature* vol. 414, no. 6859 (November 1, 2001): 88-132.

Nature magazine, October 2002.

Negroponte, Nicholas. *Being Digital* (New York, NY: Vintage Books, 1996).

Nestle, Marion. "Allergies to Transgenic Foods: Questions of Policy." *New England Journal of Medicine*, March 14, 1996.

New England Journal of Medicine, April 2002.

New York Times, December 7, 1993.

New York Times. "Whether to Make Perfect Humans." July 22, 1982.

Nordlee, Julie A., Steve L. Taylor, Jeffrey A. Townsend, Laurie A. Thomas and Robert K. Bush. "Identification of a Brazil-Nut Allergen in Transgenic Soybeans." *New England Journal of Medicine*, March 14, 1996.

Okarma, T.B. "Human Embryonic Stem Cells: A Primer on the Technology and its Medical Applications," in S. Holland, K. Lebacqz and L. Zoloth (eds) *The Human Embryonic Stem Cell Debate* (Cambridge, MA: MIT Press, 2001), 3-14.

Oliver, Richard W. *The Coming Biotech Age: The Business of Bio-Materials* (New York, NY: McGraw-Hill, 2000).

Olson, Steve. *Mapping Human History: Discovering Our Past Through Our Genes* (New York, NY: Houghton Mifflin, 2002).

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). "Enzymatic Production of Acrylamide (Mitsubishi Rayon, Japan)," in *The Application of Biotechnology to Industrial Sustainability - Sustainable Development* (Paris: OECD, 2001), 71-76.

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). "Manufacture of Riboflavin (Vitamin B2) (Hoffmann, La-Roche, Germany)," in *The Application of Biotechnology to Industrial Sustainability - Sustainable Development* (Paris, France: OECD, 2001), 51-55.

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). "Industrial Sustainability and the Role of Biotechnology," in *Biotechnology for Clean Industrial Products and Processes - Towards Industrial Sustainability* (Paris: OECD, 1998), 15-27.

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). "Polymers from Renewable Resources (Cargill Dow, United States)," in *The Application of Biotechnology* (2001), 87-90.

Oxford Encyclopedia of the Modern Islamic World (New York, NY: Oxford University Press, 1995).

Resnick, J.L., L.S. Bixler, L. Cheng and P.J. Donovan. "Long-term Proliferation of Mouse Primordial Germ Cells in Culture." *Nature* 359 (1992): 550-551.

Rideout III, William M. et al. "Correction of a Genetic Defect by Nuclear Transplantation and Combined Cell and Gene Therapy." *Cell* 109 (2002): 17-27.

Rifkin, Jeremy. *The Biotech Century: The Coming Age of Genetic Commerce* (London: Victor Gollancz, 1998, and New York, NY: Jeremy Tarcher, Inc., 1998).

Roberts, R.W. and W.W. Ja. "In Vitro Selection of Nucleic Acids and Proteins: What are we Learning?" *Current Opinion in Structural Biology* vol. 9, no. 4 (1999): 521-529.

Schrödinger, Erwin. *What is Life? The Physical Aspect of the Living Cell* (Cambridge: Cambridge University Press, 1948).

Science, 279 (1998).

Scientific American, September 1996.

The Scientist, vol. 14, no. 21, October 30, 2000.

Scott, Bruce R. and George C. Lodge (eds). *US Competitiveness in the World Economy* (Boston: Harvard Business School Press, 1985).

Shamblott, M.J. et al. "Derivation of Pluripotent Stem Cells from Cultured Human Primordial Germ Cells." *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA 95* (1998): 13726-13731.

Shimizu, K., J. Cha, G.D. Stucky and D.E. Morse. "Silicatein α: Cathepsin L-like Protein in Sponge Biosilica." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Washington, DC, vol. 95, no. 11 (1998): 6234-6238.

Sifton, D.W. (ed.). *PDR Guide to Biological and Chemical Warfare Response* (Thompson/Physicians' Desk Reference, 2002).

Solbrig, Otto, Robert Paarlberg and Francesco Di Castri. *Globalization and the Rural Environment* (Cambridge, MA: Harvard University Press, 2001).

Sorio, B. et al. "Insulin-Secreting Cells Derived from Embryonic Stem Cells Normalize Glycemia in Streptozotocin-induced Diabetic Mice." *Diabetes* 49 (2001): 157-162.

Spemann, H. (1943). "Forschung und Leben" (Research and Life). Quoted in Horder, T.J., Witkowski J.A. and Wylie, C.C. *A History of Embryology* (Cambridge: Cambridge University Press, 1986), 219.

Steen, G. *DNA and Destiny: Nature and Nurture in Human Behavior* (New York, NY: Plenum, 1996).

Stock, G. *Redesigning Humans: Our Inevitable Genetic Future* (Boston, MA: Houghton Mifflin, 2002).

"The Storefront Genome." Conference organized by the Center for Society, the Individual and Genetics (http://www.arc2.ucla.edu/csig/symp1.htm).

Sykes, Bryan. *Seven Daughters of Eve* (New York, NY: W.W. Norton, 2001).

Teresi, Dick. *Lost Discoveries: Ancient Roots of Modern Science from the Babylonians to the Maya* (New York, NY: Simon & Schuster, 2002).

Testimony of Dr Sue Bailey before Congress: The United States House of Representatives Committee on Veterans' Affairs, October 15, 2001.

Thomson, J.A. et al. "Embryonic Stem Cell Lines Derived from Human Blastocysts." *Science* 282 (1998): 1145-1147.

Tufts Center for the Study of Drug Development, press release, November 30, 2001 (http://csdd.tufts.edu/).

University of Texas Southwestern Medical Center. "Immortalizing Enzyme Does Not Make Human Cells Cancerous," January 4, 1999.

US Army Medical Research Institute of Infectious Diseases. *Medical Management of Biological Casualties Handbook*, third edition (Fort Detrick, Maryland, July 1998).

US Army Medical Research and Matériel Command. *Defense Against Toxin Weapons*, second revision (Fort Detrick, Maryland, 1997).

Viney, C., A.E. Huber, D.L. Dunaway, K. Kerkam and S.T. Case. "Optical Characterization of Silk Secretions and Fibers," in D. Kaplan, W.W.

Adama, B. Farmer and C. Viney (eds), "Silk Polymers," *ACS Symposium Series*, vol. 544, American Chemical Society, Washington, DC (1994), 120-136.

Vollrath, F. and D.P. Knight. "Liquid Crystalline Spinning of Spider Silk." *Nature* vol. 410 (2001): 541-548.

Warner, S. "Science in Small Hubs." *The Scientist* vol. 16, no. 7 (April 1, 2002): 54.

Watson, James and Francis Crick. "A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid." *Nature* vol. 171, April 25, 1953.

Weber, M.F., C.A. Stover, L.R. Gilbert, T.J. Nevitt and A.J. Ouderkirk. "Giant Birefringent Optics in Multilayer Polymer Mirrors." *Science* vol. 287 (2001): 2451-2456.

Whaley, S.R., D.S. English, E.L. Hu, P.F. Barbara and A.M. Belcher. "Selection of Peptides with Semiconductor Binding Specificity for Directed Nanocrystal Assembly." *Nature* vol. 405, no. 6787 (2000): 665-668.

Whitehead Institute for Biomedical Research. "New Study Shows Normal-Looking Clones May Be Abnormal," MIT, Cambridge, MA, July 9, 2001 (www.wi.mit.edu).

Wiegele, Thomas C. *Biotechnology and International Relations: The Political Dimensions* (Gainesville, FL: University of Florida Press, 1991).

Willcox, P.J., S.P. Gido, W. Muller and D.L. Kaplan. "Evidence of a Cholesteric Liquid Crystalline Phase in Natural Silk Spinning Processes." *Macromolecule*, vol. 29 (1996): 5106-5110.

Wolpe, P.R. and G. McGee. "'Expert Bioethics' as Professional Discourse: The Case of Stem Cells," in Holland, S., Lebacqz, K. and Zoloth, L. (eds). *The Human Embryonic Stem Cell Debate* (Cambridge, MA: MIT Press, 2001), 204-242.

World Bank. *World Development Indicators 2002* (CD ROM).

Zaremba, C.M., A.M. Belcher, M. Fritz, Y.L. Li, S. Mann, P.K. Hansma, D.E. Morse, J.S. Speck and G.D. Stucky. "Critical Transitions in the Biofabrication of Abalone Shells and Flat Pearls." *Chemistry of Materials* vol. 8 (1996): 679-690.

Zimmerman, Burke E. "Human Germ-Line Therapy: The Case for its Development and Use." *Journal of Medicine and Philosophy*, December 1991.

التقنية الحيوية ومستقبل المجتمعات البشرية
التحديـات والفـرص

تدفعنا الإنجازات الباهرة في مجال التقنية الحيوية إلى إعادة النظر في مفهوم الحياة نفسه، كما أنها تحدث تحولات نوعية في المجتمعات، وتخلق فرصاً وتحديات غير مسبوقة؛ فهل سيساعدنا وضع تسلسل الجينوم البشري في معالجة الأمراض الجينية وإطالة العمر بلا حدود؟ وهل سنتمكن بفضل معالجة الخلية الجذعية والهندسة النسيجية من تجديد الأعضاء المريضة واستبدالها؟وهل ستحدث الاختبارات التشخيصية الجديدة ثورة في الطب والرعاية الصحية؟ وهل ستمكن الهندسة الجينية الآباء من تصميم أطفال مثاليين؟ وهل ستمنحنا الطبيعة مواد حيوية متطورة ستحدث تغيرات واسعة في الصناعة؟ وهل ستطعم المحاصيل المعدلة وراثياً الأفواه الجائعة في العالم؟

ومادامت التقنية الحيوية هي القوة المحركة في القرن الحادي والعشرين، فإن التقدم والإبداع في علوم الحياة سيكونان السبيل إلى خلق الثروات والهيمنة الاقتصادية. ولكن، هل سيستعيد العالم العربي مكانته في الصدارة في هذه المجالات؟ وهل يمكن للعالم العربي أن يستفيد من ثورة التقنية الحيوية من دون أن تصيبه مخاطرها؟

طُرحت هذه القضايا للبحث والتحليل في المؤتمر السنوي الثامن الذي نظمه مركز الإمارات للدراسات والبحوث الاستراتيجية تحت عنوان «التقنية الحيوية ومستقبل المجتمعات البشرية: التحديات والفرص» في الفترة 11 - 13 كانون الثاني/يناير 2003 في أبوظبي. ويضم هذا الكتاب بين دفتيه الأوراق البحثية المقدمة في المؤتمر والتي ناقشت التأثيرات المتنامية لثورة التقنية الحيوية، مع تسليط الضوء على الاتجاهات الجديدة في الرعاية الصحية والطب الجزيئي، والثورة الجينية في الزراعة، ومستقبل إنتاج المواد، وتقنيات اكتشاف العقاقير الدوائية الجديدة، وقضايا الأمن القومي، بما في ذلك تهديد الإرهاب الحيوي. كما يناقش الكتاب القضايا الأخلاقية والقانونية والاجتماعية المعقدة التي تثيرها ثورة التقنية الحيوية ويتعين على الحكومات وصناع القرار معالجتها.




ISBN 9948-00-669-0
9 789948 006695